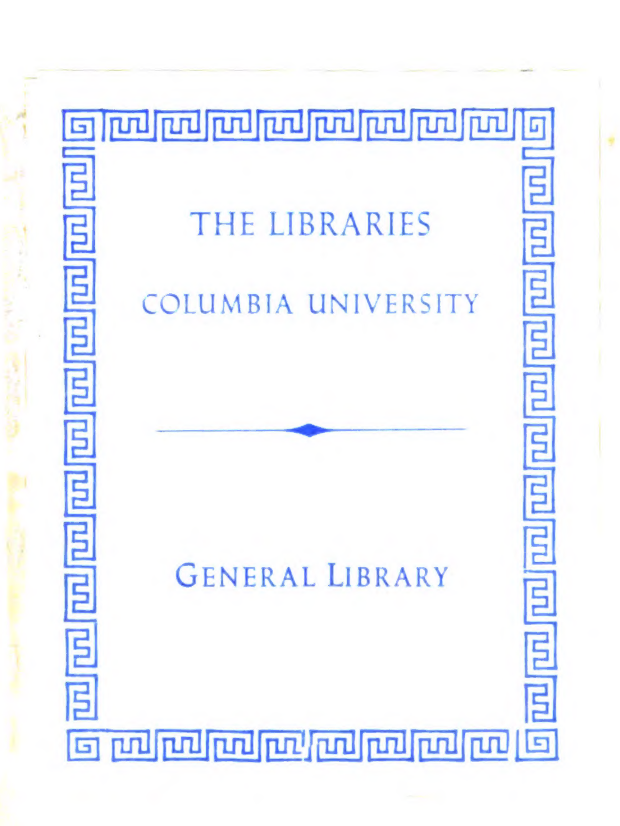



Google





Obshcheponiatnaia

ОБЩЕПОНЯТНАЯ

fizika

ФИЗИКА,

СОСТАВЛЕННАЯ

Н. Писаревским.

Nikolai Grigor'evich Pisarevskii

Часть I-я.

Изданіе 2-е, вновь обработанное и значительно умноженное.

САНКТПЕТЕРБУРГЪ.

въ типографіи И. Глазунова и Комп.

1854.

ПЕЧАТАТЬ ПОЗВОЛЯЕТСЯ,

съ тѣмъ, чтобы по отпечатаніи представлено было въ Цензурный Комитетъ узаконенное число экземпляровъ. С.-Петербургъ, 23 Марта, 1854 года.

Цензоръ *Н. Елагинъ.*

ЕГО ИМПЕРАТОРСКОМУ ВЫСОЧЕСТВУ

ГОСУДАРЮ НАСЛѢДНИКУ ЦЕСАРЕВИЧУ,

ГЛАВНОМУ НАЧАЛЬНИКУ ВОЕННО-УЧЕБНЫХЪ ЗАВЕДЕНІЙ.

Съ благоговѣніемъ посвящаетъ

составитель.

ПРЕДИСЛОВІЕ.

Первое изданіе общепонятной физики было вмѣстѣ первымъ опытомъ моимъ популярнаго изложенія этой науки. Я имѣлъ въ виду представить не послѣдовательное и строгое развитіе науки, а только сводъ важнѣйшихъ истинъ и примѣненій основанныхъ на немъ. Цѣлію моею было не обременять читателей точными доказательствами, а познакомить его путемъ преимущественно нагляднымъ съ сущностію выводовъ науки. При этомъ я былъ долженъ пожертвовать точностію, такъ называемой, механической части физики и оптики, могущихъ быть изложенными надлежащимъ образомъ, только при помощи математическаго развитія. Увлекаясь заданною идеею, я уклонялся, къ сожалѣнію, въ иныхъ мѣстахъ отъ научной строгости и поэтому механическая часть физики и статья о свѣтѣ далеко не могли удовлетворить строгому научному разбору.

Благосклонный же пріемъ, оказанный публикою первому изданію моей физики, которая разошлась почти въ теченіи трехъ мѣсяцевъ, лестные отзывы журналовъ, имѣвшихъ въ виду, очевидно, не строгій разборъ, но единственно поощреніе моего труда, и наконецъ покровительство оказанное моей книгѣ министерствомъ народнаго просвѣщенія, удостоившимъ ее принятіемъ въ свое вѣдомство въ видѣ учебнаго пособія, заставили меня обратить полное вниманіе на тщательную разработку 2-го изданія. При этомъ я воспользовался

замѣчаніями извѣстныхъ нашихъ физиковъ Ленца и Перевощикова, указаніями извѣстнаго нашего писателя, по части естественныхъ наукъ, Хотинскаго и совѣтами преподавателей Тыртова, Пчельникова и Чарухина. — Благодаря ихъ указаніямъ, я рѣшился вновь разработать второе изданіе и, пользуясь пребываніемъ моимъ въ Парижѣ въ прошедшемъ году, посѣщалъ съ этою цѣлію курсъ знаменитаго современнаго физика Реньо и лекціи въ Сорбонской школѣ. Взявши за образецъ лучшія современныя физическія сочиненія Миллера, Кунчека, Пулье и Гесслера, я старался изложить теперешній мой курсъ съ научною строгостію, такъ чтобы онъ могъ служить пособіемъ при изученіи физики по болѣе подробнымъ руководствамъ. Имѣя также въ виду удовлетворить читателямъ, незнакомымъ съ математикою и требующимъ, такъ называемаго, популярнаго изложенія, я раздѣлилъ всю мою книгу на двѣ части, изъ которыхъ въ одной, напечатанной крупнымъ шрифтомъ, находится все то, что могло быть изложено болѣе нагляднымъ путемъ, безъ математическихъ доказательствъ, а въ другой, напечатанной петитомъ, изложены строгія доказательства, такъ что читатель можетъ по собственному желанію выбирать тотъ или другой способъ изложенія. Поэтому математическія формулы, встрѣчаемыя въ книгѣ, не должны путать тѣхъ, которые желаютъ ознакомиться только съ важнѣйшими истинами науки. Я постоянно имѣлъ въ виду и въ этомъ изданіи послѣдній классъ читателей, зная, что въ настоящее время наука постоянно распространяетъ свою область между большинствомъ публики. Теперь уже миновало то время, когда считали возможнымъ приближеніе къ такъ называемому святилищу науки только въ жреческомъ облаченіи. Въ настоящее время съ равнымъ доступомъ можетъ приближаться къ олтарю ея каждый, желающій озарить свой умъ благотворнымъ свѣтомъ познанія. Наука съ одинаковымъ радушіемъ должна открывать неистощимыя свои сокровища какъ мыслителю, вникающему въ малѣйшія подробности, такъ и обыкновенному человѣку, черпающему изъ сокровищницы науки только то, что позволяютъ его силы.

Я воспользовался въ настоящемъ изданіи однимъ весьма важнымъ замѣчаніемъ, сдѣланнымъ мнѣ нѣкоторыми изъ указанныхъ выше лицъ, чтобы отдѣлить сущность науки отъ примѣненій. Въ этомъ только случаѣ мало знакомый съ физикой можетъ удобно слѣдить за

общей нитію, состоящею изъ послѣдовательной связи истинъ науки. Для удовлетворенія этому условію всѣ примѣненія напечатаны петитомъ. Нѣкоторыя весьма важныя примѣненія, какъ напр. фотографія и др., пропущенныя въ первомъ изданіи, помѣщены во второмъ. Я изложилъ съ особенною подробностію химическую статью, важную по приложеніямъ въ общежитіи и по необходимости, для яснаго усвоенія многихъ физическихъ истинъ, въ особенности въ статьѣ о свѣтѣ и электричествѣ. Теорія свѣта изложена отдѣльно послѣ изложенія законовъ отраженія, преломленія и разложенія свѣта. Прибавлена новая статья о метеорологическихъ явленіяхъ. Всѣ новыя наблюденія и открытія не упущены изъ виду. Лучшія модели различныхъ приборовъ сняты для курса, во многихъ случаяхъ, съ натуры, такъ что въ настоящей книгѣ можно встрѣтить много фигуръ, не попадающихся въ другихъ курсахъ физики.

Изданіе это обогащено многочисленными и превосходно исполненными фигурами, число которыхъ въ одной первой части почти равно числу фигуръ всего сочиненія при первомъ изданіи. Всѣ неудовлетворительныя старыя фигуры замѣнены новыми, выполненными лучшими заграничными художниками.

Насъ упрекали нѣкоторые за описаніе различныхъ физическихъ приборовъ, говоря что изученіе физики не должно заключаться въ описаніи физическаго кабинета. На это замѣчаніе можно отвѣтить слѣдующимъ вопросомъ: какую невыгоду имѣетъ описаніе двухъ приборовъ, служащихъ для повѣрки какого нибудь доказаннаго закона? По всей вѣроятности только ту, что даетъ понятіе о различіи способовъ, употребляемыхъ для достиженія одной и той же цѣли. Лица, приводящія подобные упреки и заботящіяся о томъ, чтобы изложеніе развивало учащагося, упускаютъ изъ виду, что это различное разсматриваніе одного предмета именно и способствуетъ наибольшему развитію. Вмѣстѣ съ тѣмъ оно показываетъ ходъ усовершенствованій по части опытовъ, служащихъ важнѣйшими средствами для изученія законовъ природы. Напр. въ настоящемъ курсѣ помѣщено нѣсколько машинъ для повѣрки законовъ равноускореннаго движенія. Машина Атвуда помѣщена, какъ по важности основанія своего устройства, такъ и потому, что она встрѣчается почти въ каждомъ физическомъ кабинетѣ. Спрашивается, почему же послѣ того нельзя показать изучающему, что той же самой цѣли можно дости-

гнуть совершенно другимъ способомъ посредствомъ вращающагося цилиндра Морена. Почему же наконецъ не указать, что этотъ вращающійся цилиндръ можетъ быть устроенъ весьма просто по системѣ Секретана для каждаго физическаго кабинета и при томъ, судя по средствамъ послѣдняго, различнымъ образомъ. Почему напр. требовать, чтобы въ физикѣ описывались исключительно только банальные приборы, встрѣчающіеся въ каждомъ курсѣ. Вѣдь нельзя же довольствоваться описаніемъ одного барометра съ чашечкою и умолчать о сифонномъ и другихъ усовершенствованіяхъ ртутнаго барометра. Обыкновенно описываютъ ихъ въ различныхъ курсахъ физики, потому что приборы эти весьма употребительны. Почему же не описать анероиднаго барометра, который въ настоящее время значительно распространенъ. Какъ не привести описанія различныхъ насосовъ: этимъ показывается ходъ развитія послѣднихъ машинъ и вмѣстѣ съ тѣмъ получается возможность удовлетворить различнымъ требованіямъ изучающаго, потому что одному изъ нихъ нужно описаніе такого, а другому инаго насоса. Намъ скажутъ, въ чему же описаніе различныхъ машинъ, употребляемыхъ въ общежитіи, какъ напр. *лампъ*, *кузнечныхъ мѣховъ* и т. п.? На это мы отвѣтимъ, что каждый приборъ имѣетъ относительную важность: что неважно въ глазахъ одного, то необходимо другому. При составленіи же этого *общепонятнаго* курса я имѣлъ въ виду по возможности удовлетворить самымъ разнообразнымъ требованіямъ. Обремененіе курса подобными примѣненіями было бы тогда вредно, если бы они стояли на первомъ планѣ. Чтобы отдѣлить примѣненія отъ такъ называемой сущности науки, они напечатаны петитомъ. Для доказательства важности примѣненій стоитъ только указать на лучшіе курсы физики Миллера, Пулье, Кунчека, Гесслера, Баумгартена и другихъ.

Скажемъ теперь нѣсколько словъ о самомъ распредѣленіи статей въ настоящемъ курсѣ. Онъ разбитъ на двѣ части, изъ которыхъ въ первой изложена, такъ называемая, механическая часть физики до явленій колебаній, т. е. явленія притяженія на разстояніи и различные виды частичнаго притяженія. Чтобы доставить себѣ большую свободу въ распредѣленіи статей и вмѣстѣ съ тѣмъ, чтобы имѣть возможность обстоятельно излагать опытныя изслѣдованія въ зависимости отъ различныхъ причинъ, имѣющихъ вліяніе на нихъ, я изложилъ въ началѣ, по примѣру Пулье, общій очеркъ физическихъ

явленій. Изъ него начинающій, во первыхъ, можетъ видѣть, изученіемъ какихъ явленій онъ будетъ заниматься и, во вторыхъ, получаетъ хотя краткое понятіе о томъ, что такое центръ тяжести, вѣсъ, термометръ, температура, пары и т. п. наиболѣе необходимые, при послѣдующемъ изложеніи, приборы и явленія. Это даетъ большой просторъ при изложеніи чисто механической статьи и вообще статьи о равновѣсіи твердыхъ, жидкихъ и газообразныхъ тѣлъ, гдѣ почти на каждомъ шагу приходится указывать на зависимость, напр. плотности, упругости и другихъ явленій отъ теплоты. Весьма бы странно было, если бы ученикъ, окончившій половину физики, былъ въ полной увѣренности, что пройденные имъ законы непреложны для всѣхъ случаевъ, и узналъ бы только подъ конецъ курса, что измѣненіе ихъ зависитъ отъ теплоты или отъ другихъ причинъ. Нельзя же утаить отъ ученика, что вода, служащая для опредѣленія единицы вѣса, должна быть взята 4 при 4°, 1 стоградуснаго термометра. Какимъ образомъ ученикъ можетъ слушать цѣлый годъ курсъ физики, не имѣя никакого понятія объ устройствѣ термометра. Не должно упускать изъ виду, что физика есть наука, въ которой всѣ факты находятся въ большемъ или меньшемъ соотношеніи между собою.

Изложивъ же первоначально краткій очеркъ явленій, необходимыхъ для доставленія лучшей послѣдовательности подробному изложенію физики, получается возможность разсматривать отдѣльно чисто механическую статью о равновѣсіи силъ и движеніи и о машинахъ. Чрезъ это достигаются важныя удобства, во первыхъ, ученикъ видитъ отдѣльную совокупность законовъ, относящуюся не къ одной только тяжести, но и ко всѣмъ вообще силамъ, во вторыхъ, онъ можетъ съ большею послѣдовательностію слѣдить за явленіями тяжести. Какая выгода была изъ того, что въ статью о тяжести включали машины и сопротивленія движенію, и между прочимъ объ ударѣ; мы говоримъ по собственному опыту: все это перепутывается въ головѣ начинающаго и онъ смотритъ на маятникъ, какъ на простую машину, подобно блоку и вороту, потому что маятникъ стоитъ въ курсахъ вслѣдъ за послѣдними. Обыкновенно включеніе простыхъ машинъ въ статью о тяжести оправдываютъ тѣмъ, что для изученія ихъ необходимо имѣть понятіе о центрѣ тяжести. Что же мѣшаетъ дать ученику это понятіе нѣсколько прежде и потомъ въ свою очередь говорить подробнѣе о законахъ центра тяжести.

Я уклонился также отъ разсмотрѣнія явленій тяжести и частичнаго притяженія отдѣльно въ твердыхъ, жидкихъ и воздухообразныхъ тѣлахъ, а изложилъ сперва явленія тяжести во всѣхъ состояніяхъ скопленія тѣлъ, потомъ точно также поступилъ и съ явленіями частичнаго притяженія. Такое измѣненіе, сдѣланное для единства обозрѣнія, весьма мало уклоняется впрочемъ отъ прежняго изложенія.

Во второй части заключаются статьи о волнообразныхъ движеніяхъ, звукѣ, свѣтѣ, теплотѣ, магнетизмѣ и электричествѣ.

Теперешнее изданіе этой книги будетъ заключать вдвое большій объемъ противу прежняго, отличаясь при этомъ незначительною прибавкою цѣны.

Въ заключеніе мнѣ остается изъявить искреннюю благодарность М. С. Хотинскому за участіе, принятое имъ по редакціи настоящаго сочиненія во время моего отсутствія заграницею.

Парижъ,
7-го Декабря 1853 года.

NB. **Просимъ читателей предварительно справиться съ листомъ замѣченныхъ опечатокъ, напечатанныхъ въ концѣ книги.**

ОГЛАВЛЕНІЕ 1-й ЧАСТИ.

ОБЩЕЕ ПОНЯТІЕ ОБЪ ЕСТЕСТВЕННЫХЪ НАУКАХЪ.

ФИЗИКА.

Существенныя свойства тѣлъ.

Параг. Стран.

Краткое обозрѣніе физическихъ явленій.

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ ДВИЖЕНІЯ И РАВНОВѢСІЯ.

(Механика).

Законы равномѣрнаго и равноускореннаго движенія.

Взаимное дѣйствіе силъ.

Парагр. Стран.

Краткое обозрѣніе физическихъ явленій.

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ ДВИЖЕНІЯ И РАВНОВѢСІЯ.

(Механика).

Законы равномѣрнаго и равноускореннаго движенія.

Взаимное дѣйствіе силъ.

Параграф. Стран.

Дѣйствіе силы на тѣло, движущееся по инерціи.

Движеніе неподвижно-соединенныхъ между собою точекъ около оси вращенія.

Ударъ тѣлъ.

Сопротивленія движенію.

Законы равновѣсія силъ въ машинахъ.

I. *Простыя машины.*

Примѣры употребленія рычаговъ въ общежитіи.

II. *Сложныя машины.*

Механическіе движители, приводы и уравнители.

ПРИТЯЖЕНІЕ НА РАЗСТОЯНІИ.

Тяжесть.

Дѣйствіе тяжести.

Свободное паденіе тѣлъ.

Параг. Стран.

Законы равновѣсія газообразныхъ тѣлъ.

(Аэростатика).

Движеніе газовъ.

Притяженіе на безконечномаломъ разстояніи.

Сила химическаго притяженія (сродство).

(Химія).

Параг. Стран.

Законы равновѣсія газообразныхъ тѣлъ.

(Аэростатика).

Движеніе газовъ.

Притяженіе на безконечномаломъ разстояніи.

Сила химическаго притяженія (сродство).

(Химія).

ОБЩЕЕ ПОНЯТІЕ ОБЪ ЕСТЕСТВЕННЫХЪ НАУКАХЪ.

Слово *природа* или *естество* имѣетъ различныя значенія. Такъ напр. подъ этимъ словомъ разумѣется иногда собраніе такихъ свойствъ или принадлежностей предметовъ, посредствомъ которыхъ они отличаются одни отъ другихъ. Весьма часто съ этимъ словомъ соединяютъ понятіе противуположное всему искусственному, при образованіи котораго всегда предполагается участіе человѣческаго ума, какъ напр. при составленіи картины, изваяніи статуи и тому подобныхъ предметовъ. Но подъ болѣе общимъ названіемъ *природы* разумѣютъ собраніе всего того, что можетъ быть познаваемо органами нашихъ чувствъ. Въ этомъ только значеніи природа составляетъ одинъ изъ важнѣйшихъ предметовъ изученія и потому мы разсмотримъ ближайшимъ образомъ средства употребляемыя человѣкомъ для ея познанія. Понятіе о природѣ.

Для принятія разнаго рода внѣшнихъ впечатлѣній человѣкъ обладаетъ различными органами, изъ которыхъ каждый соотвѣтствуетъ особенному классу впечатлѣній. Такъ напр. посредствомъ *глаза* мы *видимъ* окружающіе насъ предметы; *ухо* позволяетъ намъ *слышать* шумъ, раздающійся вокругъ насъ; съ помощію *носа* мы обоняемъ *запахъ* издаваемый пахучими тѣлами, *языкъ* и нёбо во рту даютъ намъ возможность судить о *вкусѣ* извѣстныхъ вещей; наконецъ *осязаніе* распространенное почти по всей поверхности *нашего тѣла* и, преимущественно, на *оконечностяхъ рукъ* даетъ намъ понятіе о формѣ предметовъ, къ намъ прикасающихся. Только помощію этихъ органовъ, служащихъ единственными посредниками между человѣкомъ и природою, онъ можетъ доставить душѣ своей вѣрное понятіе о существованіи всего того, что находится внѣ ея.

Чтобы удостовѣриться въ невозможности составить себѣ безъ этого посредства понятіе о какой либо части природы возмемъ напримѣръ слѣпорож-

деннаго. Хотя помощію осязанія онъ и въ состояніи представить себѣ очертаніе или фигуру разныхъ вещей, но за то ему нѣтъ никакой возможности составить себѣ хотя малѣйшее понятіе о различныхъ цвѣтахъ. Всѣ наши усилія объяснить ему различіе цвѣтовъ посредствомъ описанія останутся безуспѣшными, потому что нѣтъ никакой возможности выразить словами, что такое красный или голубой цвѣтъ. Точно также было бы невозможно, посредствомъ описанія доставить глухому понятіе о тонахъ, издаваемыхъ какимъ либо инструментомъ. По этому, желая пріобрѣсть *надлежащее* понятіе о природѣ, мы должны предварительно собрать о ней свѣденія посредствомъ органовъ чувствъ.

Древніе ученые мало обращали вниманія на этотъ способъ пріобрѣтенія познаній; такъ напримѣръ мы находимъ у греческихъ философовъ только однѣ умозрительныя разсужденія о вещественномъ мірѣ, а потому неудивительно, что собранныя этимъ путемъ представленія о природѣ или не имѣютъ никакого значенія или совершенно противорѣчатъ тому, что существуетъ на самомъ дѣлѣ. Умозрительныя разсужденія о природѣ, неоснованныя на показаніяхъ чувствъ, сравниваютъ съ разсказами человѣка о комнатѣ, въ которой онъ находился съ завязанными глазами.

Оцѣнивая по достоинству впечатлѣнія чувствъ, нельзя однакожъ не замѣтить, что одни чувства сами по себѣ также недостаточны для совершеннаго и надлежащаго познанія природы. — Ребенокъ, собирая посредствомъ чувствъ впечатлѣнія, еще не имѣетъ надлежащаго о нихъ понятія, потому что умъ его, не достигнувъ должнаго развитія, не можетъ групировать ихъ какъ слѣдуетъ и, что еще важнѣе, не въ состояніи сравнивать ихъ между собою.—Только помощію сравненія, человѣкъ убѣждается въ истинѣ всѣхъ принимаемыхъ имъ впечатлѣній.

Сравнивая впечатлѣнія, пріобрѣтаемыя органами, мы замѣчаемъ, что одни впечатлѣнія доставляютъ намъ понятія о существованіи какъ цѣлой природы, такъ и отдѣльныхъ частей ея въ неизменномъ видѣ, между тѣмъ какъ другія даютъ намъ только понятія о различныхъ *измѣненіяхъ*, претерпѣваемыхъ произведеніями природы.

Тѣло. Перваго рода понятія, доставляемыя намъ въ одно и тоже время преимущественно органами осязанія и зрѣнія, пріобрѣтаются собственно о той части природы, которая носитъ названіе *предметовъ* или *тѣлъ*. Сюда принадлежатъ различные камни, растенія и животныя.

При этомъ не должно упускать изъ виду, что каждое новое впечатлѣніе о природѣ необходимо сравнивать съ запасомъ впечатлѣній уже пріобрѣтенныхъ нами. Чтобы убѣдиться въ необходимости этого сравненія, возмемъ для примѣра впечатлѣнія, доставляемыя намъ луною, звѣздами и облаками. Такъ какъ въ принятіи этихъ впечатлѣній участвуетъ одно только зрѣніе, то съ перваго взгляда кажется, что ни луна, ни звѣзды, ни облака не могутъ быть причислены къ тѣламъ. Но если сравнить доставляемыя ими впечатлѣнія съ запасомъ впечатлѣній уже пріобрѣтенныхъ нами при помощи совокупнаго дѣйствія осязанія и зрѣнія, то легко поймемъ, что тѣла эти вовсе не составляютъ исключенія изъ сдѣланнаго нами опредѣленія. Если же они и не вполнѣ удовлетворяютъ ему, то это потому только, что мы не имѣемъ возможности прикоснуться къ нимъ руками.

Точно также при помощи увеличительнаго стекла въ едва замѣтной каплѣ болотной воды обнаруживается множество живыхъ и вмѣстѣ съ тѣмъ недоступныхъ для осязанія существъ, называемыхъ *инфузоріями*, которыя безъ всякаго сомнѣнія принадлежатъ тоже къ тѣламъ.—Это показываетъ несовершенство органовъ нашихъ чувствъ, дѣйствующихъ только въ извѣстныхъ предѣлахъ.—Вотъ почему всегда должно повѣрять и сравнивать умомъ впечатлѣнія, доставляемыя органами чувствъ.

Обращая вниманіе на окружающія насъ тѣла, не трудно замѣтить, что они бываютъ подвержены различнымъ *измѣненіямъ*.—Такъ напримѣръ, слѣдя весною за цвѣткомъ, мы можемъ видѣть постепенное возрастаніе стебля, появленіе листьевъ, развитіе цвѣтовъ во время лѣта и наконецъ самое уничтоженіе ихъ съ появленіемъ зимы. Точно также поражаетъ наше вниманіе перемѣщеніе тѣлъ съ одного мѣста на другое. Явленія.

Подобнаго рода *измѣненія*, замѣчаемыя въ тѣлахъ органами нашихъ чувствъ, называются *явленіями*.

Изъ собранія разнородныхъ свѣденій о тѣлахъ и явленіяхъ вещественнаго міра составилась наука, называемая *естествознаніемъ*. Предметъ естествознанія.

Наука эта мало по малу наполнялась разнообразіемъ свѣденій, вносимыхъ въ область ея людьми занимавшимися изслѣдованіемъ природы и называвшимися *естествоиспытателями*. Понятно, что при быстромъ развитіи естествознанія не было уже возможности одному человѣку заниматься отдѣльнымъ изученіемъ всѣхъ предметовъ этой науки.—Вслѣдствіе того родилась необходимость раздѣлить обширную область естествознанія на части, изъ которыхъ каждая сдѣлалась предметомъ отдѣльнаго изученія. Это раздѣленіе труда при изученіи природы, подобно тому какъ и при всѣхъ большихъ предпріятіяхъ, было сдѣлано на томъ основаніи, чтобы всѣ однородные предметы и явленія составляли особыя другъ отъ друга группы.—Это отличіе группъ или подобныхъ частей обозначилось самымъ различіемъ впечатлѣній, доставляемыхъ намъ природою.

Такимъ образомъ изъ разнообразныхъ впечатлѣній природы были отдѣлены сперва свѣденія о признакахъ и свойствахъ обнаруживаемыхъ произведеніями природы въ ихъ самобытномъ, естественномъ состояніи. Изслѣдованія этихъ существенныхъ или, какъ говорятъ, *характерическихъ* признаковъ, посредствомъ которыхъ тѣла различаются между собою, вошли въ составъ науки, называемой *естественной исторіей*. Естественная исторія.

Но и эту науку, представлявшую разнообразіе свѣденій, въ свою очередь, должно было подраздѣлить на части. — Части эти могутъ быть легко отдѣлены другъ отъ друга, если только мы не будемъ стремиться къ тому, чтобы разграничить ихъ самыми строгими предѣлами. Послѣднее условіе невозможно, потому что въ природѣ нѣтъ почти ничего вполнѣ отдѣльнаго, а все, заключающееся въ ней, находится въ болѣе или менѣе тѣсной связи между собою и всякая попытка разложить науку о природѣ, какъ обыкновенную мозаическую картину, на точные квадраты есть дѣло совершенно невозможное. Подраздѣленіе ея.

Сверхъ того мы можемъ составить себѣ отчетливое понятіе только о томъ, что намъ извѣстно въ подробности, слѣдовательно весьма затруднительно



обрисовать ясно это раздѣленіе для тѣхъ, которые или не знаютъ вовсе, или мало знакомы съ подробнымъ содержаніемъ наукъ, входящихъ въ область естественной исторіи.

По этому мы не будемъ здѣсь разпредѣлять со строгою точностію границы между частями естественной исторіи, но покажемъ только *основанія*, служившія поводомъ къ ея подраздѣленію.

Самое поверхностное наблюденіе отдѣльныхъ предметовъ естественной исторіи подало поводъ къ первоначальному раздѣленію ихъ на предметы одаренные жизнію и лишенные жизни, изъ которыхъ первые были снова подраздѣлены на тѣла обладающіе произвольнымъ наружнымъ движеніемъ и лишенные этаго движенія. Такимъ образомъ означились три большія отдѣленія, названныя царствами — животныхъ, растеній и минераловъ: изъ нихъ первое составило предметъ *зоологіи*, второе—*ботаники*, а третье—*минералогіи*.

Самый образъ разсматриванія предметовъ, входившихъ въ эти науки, былъ поверхностный и ограничивался однимъ изученіемъ наружныхъ ихъ свойствъ, до тѣхъ поръ пока болѣе точное разсматриваніе предметовъ заставило человѣка устремить вниманіе на новую сторону изслѣдованій.—Съ этого времени получили развитіе новыя науки *анатомія животныхъ* и *растеній*, имѣвшія цѣлію изслѣдованіе отдѣльныхъ частей каждаго недѣлимаго. Но и это направленіе, служившее, такъ сказать, продолженіемъ предъидущаго не могло долго удовлетворять любопытства естествоиспытателей. — Тогда обратили вниманіе на вопросъ *о жизненныхъ явленіяхъ*, для изслѣдованія котораго человѣку недостаточно было ножа и увеличительнаго стекла, служившихъ ему главными орудіями при анатомическихъ занятіяхъ. На этомъ новомъ пути изслѣдованія человѣкъ замѣтилъ, что тѣла какъ животныя, такъ и растительныя обладаютъ способностію къ принятію въ себя постороннихъ, такъ называемыхъ питательныхъ веществъ, доставляющихъ имъ средство къ поддержанію своего существованія; сверхъ того человѣкъ нашелъ, что тѣла эти для своего развитія, поддержанія и распространенія обладаютъ особенными сосудами и орудіями, называемыми *органами*, посредствомъ которыхъ принятыя питательныя вещества переводятся въ составныя части этихъ тѣлъ въ замѣнъ другихъ частей, постоянно выдѣляемыхъ ими.—Тѣла эти, къ которымъ принадлежатъ животныя и растенія, вслѣдствіе присутствія такихъ характерическихъ признаковъ, называются *органическими*. Послѣдовательный рядъ измѣненій, постоянно обнаруживаемыхъ ими, вслѣдствіе совокупной дѣятельности всѣхъ органовъ каждаго животнаго и растенія называется *жизнію*, которая бываетъ по этому животная или растительная.

Совсѣмъ другое представляетъ въ этомъ отношеніи царство минераловъ.— Объясненіе главнѣйшихъ признаковъ этого царства мы покажемъ примѣрами и для того выберемъ различной величины куски мѣлу, сѣры и глины.

Хотя тѣла эти и отличаются съ перваго взгляда другъ отъ друга, но тѣмъ неменѣе они представляютъ также и сходство между собою. — Сходство заключается въ томъ, что каждое изъ этихъ тѣлъ въ отдѣльности состоитъ изъ однородныхъ частицъ.

И въ самомъ дѣлѣ, если отъ каждаго изъ выбранныхъ кусковъ отломить небольшія части, то послѣднія нисколько отъ того не измѣнятся въ сущности и будутъ намъ представлять мѣлъ, сѣру, и глину только въ меньшей массѣ. При изслѣдованіи существенныхъ свойствъ этихъ тѣлъ для насъ все равно, будемъ ли мы разсматривать огромные куски, образующіе цѣлыя горы или только небольшіе кусочки.

Ни въ одномъ изъ этихъ тѣлъ мы не найдемъ такихъ частицъ, которыя бы представляли существенную противуположность съ другими частицами того же самаго тѣла и по этому мы не можемъ допустить, чтобы какая нибудь одна частица была необходимѣе другой для существованія куска мѣлу или чтобы одна изъ частицъ послѣдняго имѣла, сравнительно съ другою, особенную цѣль или назначеніе. Тончайшая пылинка мѣлу, едва прилипающая къ

пальцу, составляетъ въ сущности такой же мѣлъ, какъ и огромная гора послѣдняго.

Такъ какъ тѣла минеральнаго царства не обладаютъ подобно животнымъ и растеніямъ особенными органами для принятія и переработыванія питательныхъ веществъ, то и называютъ ихъ *неорганическими* тѣлами. Но и на этомъ поприщѣ естествоиспытатели вскорѣ исчерпали предметъ первоначальнаго своего изслѣдованія. Ознакомившись съ отдѣльными свойствами минераловъ, они замѣтили, что нѣкоторые изъ нихъ, кромѣ существенныхъ своихъ признаковъ, отличаются также и огромнымъ распространеніемъ своимъ на земномъ шарѣ въ видѣ правильныхъ или неправильныхъ массъ и громадныхъ слоевъ. При этомъ начали обращать вниманіе какъ на форму ихъ расположенія, такъ и на самое разнообразіе матеріаловъ ихъ составляющихъ. Такимъ образомъ составилась новая наука — *геогнозія*.

Покажемъ теперь какимъ образомъ пріобрѣтаются свѣденія объ явленіяхъ и къ какимъ результатамъ приводитъ ближайшее ихъ изученіе. Способы изученія явленій.

Пути, употребляемые нами для собранія свѣденій о явленіяхъ природы, бываютъ различны.

При самобытномъ обнаруженіи какого нибудь явленія въ природѣ человѣкъ первоначально разсматриваетъ его въ томъ видѣ какъ оно совершается, неупотребляя ни какихъ средствъ съ своей стороны для его измѣненія.

Такое разсматриваніе явленій называется *наблюденіемъ*. Чтобы доставить наблюденіямъ достовѣрность и получить посредствомъ нихъ наиболѣе опредѣлительное понятіе о явленіи стараются сперва замѣтить его ходъ или постепенное развитіе, потомъ обращаютъ вниманіе на отношеніе его къ другимъ явленіямъ и такимъ образомъ изучаютъ главнѣйшія его свойства. — Но при этомъ бываетъ необходимо отдѣлять отъ изучаемаго явленія побочныя обстоятельства, несоставляющія его сущности, что можно сдѣлать только послѣ нѣсколькихъ повторенныхъ наблюденій. Наблюденіе.

На этомъ основаніи или ожидаютъ не повторится ли желаемое явленіе само собою безъ всякаго нашего участія или прибѣгаютъ къ помощи искусства, въ особенности тогда, когда явленіе представляется намъ или весьма рѣдко или бываетъ въ извѣстной связи съ другими явленіями.

Въ послѣднемъ случаѣ человѣкъ поставляетъ тѣла природы въ такое положеніе, при которомъ по его мнѣнію должно произойти извѣстное явленіе и смотритъ потомъ въ какой мѣрѣ оправдалось его предположеніе. Такое возпроизведеніе явленій называется *опытомъ*. Если мы будемъ слѣдить за замораживаніемъ воды зимою, то это будетъ наблюденіе. Когда же мы станемъ повторять тоже явленіе въ лѣтнее время или въ теплой комнатѣ посредствомъ извѣстныхъ средствъ, доставляемыхъ намъ наукою, то это будетъ уже опытъ. Опытъ.

Какъ для наблюденія, такъ и для опыта мы прибѣгаемъ къ пособію различныхъ *орудій* или *инструментовъ*, которые или позволяютъ намъ воспроизводить самыя явленія или доставляютъ пособіе нашимъ чувствамъ къ точнѣйшему наблюденію ихъ; такъ напримѣръ

при разсмотрѣніи предметовъ чрезвычайно малыхъ мы употребляемъ увеличительныя стекла.

Законы природы. Какимъ бы образомъ человѣкъ ни изучалъ явленія, онъ постоянно стремится къ тому чтобы найти самый способъ ихъ развитія и опредѣлить по какимъ *правиламъ* они совершаются. Внимательное и продолжительное изслѣдованіе явленій въ этомъ отношеніи показало, что они всегда происходятъ по опредѣленнымъ и неизмѣннымъ правиламъ, познаніе которыхъ даетъ человѣку возможность предсказывать какимъ образомъ должно совершаться извѣстное явленіе. Такъ напр. мы знаемъ, что всегда и вездѣ вода течетъ съ высокаго мѣста на низкое, слѣдовательно еслибы мы желали спустить воду изъ какого нибудь озера, то должно провести отъ озера канаву къ такому мѣсту, которое лежитъ ниже озера. Эти постоянныя правила, по которымъ совершаются явленія называются *законами природы*.

Способъ объясненія явленій. Но мыслящій человѣкъ не ограничивается однимъ изученіемъ законовъ природы; онъ видитъ изъ опыта, что ни одно *измѣненіе* въ въ состояніи тѣлъ не можетъ происходить безъ причины. Такъ напримѣръ для перемѣщенія тѣла съ одного мѣста на другое онъ толкаетъ его рукою; слѣдовательно причиною перемѣщенія тѣла служитъ въ этомъ случаѣ толчекъ. Чтобы *объяснить* себѣ такимъ образомъ каждое явленіе, человѣкъ отыскиваетъ *причину* его.

Ходъ умственной дѣятельности, употребляемый въ этомъ случаѣ человѣкомъ, можетъ быть объясненъ слѣдующимъ примѣромъ:

На землѣ лежитъ камень; возмемъ его въ руку и поднимемъ кверху. При этомъ камень очевидно измѣнитъ свое мѣсто, произведя движеніе вмѣстѣ съ нашею рукою. Понятно, что камень есть *тѣло*, а движеніе *явленіе*.

Въ чемъ же именно заключается причина этого явленія обнаруживающагося движеніемъ?

Естественно, что въ этомъ случаѣ собственное наше усиліе, происходящее отъ нашей воли, заставляетъ камень оставить свое прежнее мѣсто и перейти на другое.

Обращая вниманіе на поднятый камень, не трудно замѣтить, что находясь въ рукѣ, онъ производитъ на нее извѣстное давленіе, котораго она не ощущаетъ въ томъ случаѣ, когда бываетъ поднята одна безъ камня.

Чтобы объяснить причину этого явленія, стоитъ только выпустить камень изъ руки. Предоставленный самому себѣ онъ не останется повисшимъ на воздухѣ и не будетъ плавать въ немъ, но въ тоже мгновеніе, когда наша рука оставитъ его, камень начнетъ опускаться книзу и упадетъ на землю.

Вслѣдствіе того мы заключаемъ, что явленіе *давленія* на руку происходитъ отъ *стремленія* камня къ *землѣ*. Тутъ опять новое явленіе, обнаруживающееся паденіемъ камня къ землѣ и независящее уже отъ нашей воли, потому что для воспрепятствованія этому паденію мы должны употребить усиліе. Кромѣ того мы замѣчаемъ здѣсь связь двухъ явленій — стремленія камня къ землѣ и давленія его на руку,—изъ которыхъ первое служитъ *причиною*, а послѣднее

слѣдствіемъ этой причины. Причина этого слѣдствія въ свою очередь зависитъ отъ другой ближайшей причины. И въ самомъ дѣлѣ, обративъ вниманіе на падающій камень, мы увидимъ, что онъ не падаетъ ни въ бокъ, ни кверху, а направляется по прямой линіи книзу, и *упавши на землю, остается на ней*. Очевидно, что подобное движеніе камня можетъ произойти только въ томъ случаѣ, когда между землею и камнемъ существуетъ извѣстное притяженіе, подобное тому, которое обнаруживается во время приближенія къ намъ стола или другаго предмета, подвигаемаго рукою. Все различіе между этими двумя притяженіями заключается въ слѣдующемъ: во второмъ случаѣ мы можемъ легко объяснить себѣ, въ чемъ именно заключалось дѣйствіе одного тѣла на другое, между тѣмъ какъ въ первомъ случаѣ взаимное дѣйствіе между камнемъ и землею скрыто.

Слѣдовательно для объясненія всякаго явленія прибѣгаютъ къ другому явленію, которое служитъ ближайшею причиною его и въ свою очередь можетъ быть ближайшимъ слѣдствіемъ третьяго явленія. Переходя такимъ образомъ отъ одного явленія къ другому, мы получаемъ иногда послѣдовательный рядъ явленій, которыя подобно звеньямъ одной и той же цѣпи находятся въ связи между собою.

Но какъ опытъ, такъ и разсужденіе убѣждаютъ насъ, что эта цѣпь явленій, изъ которыхъ каждое въ одно и то же время служитъ и причиной и слѣдствіемъ, не можетъ быть безконечна. И въ самомъ дѣлѣ, мы придемъ наконецъ къ такому явленію, дальнѣйшую причину котораго нельзя уже повѣрить чувствами, т. е. достигнемъ до такого явленія, котораго причина не можетъ быть сама явленіемъ. Въ этомъ ряду послѣднее явленіе, для котораго мы не можемъ найти ощутимой чувствами причины, принимаютъ обыкновенно за слѣдствіе *неизвѣстной* намъ *причины*. Эту неизвѣстную причину взаимнаго дѣйствія тѣлъ, въ непремѣнномъ существованіи которой убѣждаетъ насъ умъ, въ естественныхъ наукахъ называютъ *силой природы* или просто *силой*. Изъ этого опредѣленія силы мы видимъ, что она можетъ быть выражена *неразлагаемымъ* явленіемъ, т. е. такимъ явленіемъ, которое служитъ ближайшимъ или лучше сказать непосредственнымъ слѣдствіемъ силы, явнымъ для нашихъ чувствъ. Сила.

Такимъ образомъ въ предъидущемъ примѣрѣ неизвѣстная причина, независящая отъ нашей воли и служащая причиной стремленія камня къ землѣ, называется *силой притяженія*. Эти два явленія, давленіе на руку и паденіе камня, происходящія отъ одной причины, убѣждаютъ насъ, что одна и таже сила можетъ производить различныя явленія. И въ самомъ дѣлѣ, вникая ближе въ происходящія вокругъ насъ явленія, мы можемъ допустить, что всѣ они произошли отъ незначительнаго числа конечныхъ причинъ или силъ.

Приведенная нами выше причина паденія тѣлъ есть истинная и не подлежитъ никакому сомнѣнію, потому что согласіе съ опытомъ явленія, на которомъ она основана, можетъ быть повѣрено нами на самомъ дѣлѣ. Но весьма часто встрѣчаются въ природѣ и такія Гипотеза.



явленія, причина которыхъ, не взирая на всѣ наши усилія не можетъ быть постигнута прямо посредствомъ чувствъ. И въ этомъ случаѣ мыслящій человѣкъ не останавливаетъ своего изслѣдованія. Онъ отыскиваетъ сходство опредѣляемаго явленія съ какимъ либо другимъ уже ему извѣстнымъ и, основываясь на этомъ подобіи, старается объяснить знакомой ему уже причиной ходъ новаго явленія. Эта *предполагаемая* или лучше сказать *вѣроятная* причина явленія называется *ипотезой*.

Изъ этого опредѣленія ипотезы слѣдуетъ, что для одного и того же явленія природы можетъ быть придумано нѣсколько ипотезъ, но между ними только та заслуживаетъ предпочтеніе, которая объясняетъ явленіе самымъ легкимъ и простымъ образомъ и не представляетъ сверхъ того противорѣчія съ другими законами природы.

Такъ какъ отъ одной причины могутъ зависѣть различныя явленія, то чѣмъ болѣе явленій можетъ быть объяснено помощію какой либо ипотезы и чѣмъ болѣе она подтверждается новыми наблюденіями, тѣмъ большую вѣроятность можно приписать ей.

Составивъ себѣ предположеніе на счетъ извѣстнаго рода явленій, мы можемъ дѣлать по его указанію постоянно новыя изслѣдованія и чрезъ то ускорять открытіе настоящей причины. Такъ напр. составленное извѣстнымъ ученымъ *Коперникомъ* объясненіе суточныхъ перемѣнъ дня и ночи посредствомъ 24-хъ часоваго обращенія земнаго шара на своей оси было первоначально ипотезой. Впослѣдствіи ипотеза эта привела къ изслѣдованіямъ такихъ явленій на земномъ шарѣ, которыя могли уже быть повѣрены опытомъ. Согласіе же этихъ явленій съ ипотезой Коперника возвысило ее на степень несомнѣнной истины.

Науки явленій. Перейдемъ теперь къ очерку наукъ, образовавшихся вслѣдствіе изслѣдованія явленій.

Общая физика. Наука, составленная изъ собранія свѣдѣній о явленіяхъ природы, не имѣла у всѣхъ народовъ одинаковаго названія. Нѣкоторые изъ естествоиспытателей называли ее — *общей физикой*, хотя названіе это, происходящее отъ греческаго слова — *физисъ* — *природа*, не вполнѣ объясняетъ значеніе самой науки.

Многочисленность и разнообразіе явленій, представлявшихся человѣку на каждомъ шагу, убѣдили его въ необходимости подраздѣлить трудъ изслѣдованія ихъ. Подраздѣленіе это обозначалось самымъ различіемъ явленій.

Такимъ образомъ человѣкъ видѣлъ, что при обнаруженіи въ тѣлахъ *извѣстнаго рода явленій*, тѣла эти претерпѣваютъ *совершенныя измѣненія*, между тѣмъ какъ при другихъ явленіяхъ тѣла остаются тѣмъ, чѣмъ были прежде и пріобрѣтаютъ только нѣкоторыя новыя свойства.

Разсмотримъ сперва, въ чемъ заключаются эти измѣненія:

При взглядѣ на безчисленное множество животныхъ и растеній, окружающихъ насъ, мы невольно поражаемся безпрерывнымъ появленіемъ, постепеннымъ развитіемъ и наконецъ разрушеніемъ или уничтоженіемъ этихъ тѣлъ.

Тоже самое представляется намъ при употребленіи дерева и угля для отапливанія печей. Мы видимъ, что отъ дѣйствія пламени значительное количе-

ство этихъ веществъ даетъ только небольшой остатокъ золы, въ которомъ трудно замѣтить слѣды тѣла, изъ котораго образовалось полученное нами вещество.

Точно также если оставить блестящій кусокъ желѣза или мѣди въ сыромъ мѣстѣ, то увидимъ, что по прошествіи извѣстнаго времени первый изъ нихъ покроется красноватою, а послѣдній зеленоватою корою.—Сколько бы мы не удаляли отъ желѣза и мѣди эти цвѣтные слои они будутъ образоваться снова, такъ что наконецъ все желѣзо или вся мѣдь можетъ быть превращена въ такую цвѣтную кору.

Возмемъ кусочекъ мѣлу. Если нагрѣвать его извѣстное время на сильномъ огнѣ, то послѣ охлажденія мы найдемъ, что онъ обнаружитъ свойства непредставляемыя имъ до нагрѣванія. И въ самомъ дѣлѣ, если облить нѣсколькими каплями воды обожженный кусочекъ мѣлу, то онъ начнетъ шипѣть и увеличиваться въ объемѣ, нагрѣется и будетъ распадаться въ бѣлый похожій на муку порошокъ. Порошокъ этотъ называютъ гашеною или ѣдкою известью, потому что онъ обнаруживаетъ ѣдкій вкусъ и дѣйствуетъ разрушительно на многія органическія тѣла. Если послѣ того смѣшать жженую известь съ водою и, давъ этой смѣси видъ тѣста, оставить ее на воздухѣ, то мы увидимъ, что она начнетъ постепенно твердѣть и наконецъ потеряетъ совершенно свои ѣдкія свойства. Явленія эти извѣстны каждому каменьщику, употребляющему жженую известь для связыванія отдѣльныхъ камней при постройкѣ зданій.

Подобныя явленія, производящія *существенныя измѣненія* въ тѣлахъ, называются химическими, а наука, занимающаяся разсмотрѣніемъ ихъ—*химіею*. Химія.

По отдѣленіи этой науки отъ общей физики на долю послѣдней остались явленія, несопровождающіяся существенными или совершенными измѣненіями тѣлъ.

Чтобы составить себѣ болѣе ясное понятіе объ этихъ явленіяхъ возмемъ нѣсколько примѣровъ.

Ударяя молоткомъ о колоколъ, мы слышимъ звукъ, который происходитъ также и въ томъ случаѣ, когда мы проведемъ смычкомъ по натянутой струнѣ.—Съ помощію выпуклаго полированнаго стекла мы можемъ увеличивать разсматриваемые нами предметы; тоже стекло позволяетъ намъ собирать лучи солнца въ какую нибудь точку, зажигать ими бумагу и другія тѣла. — Мы видимъ, что каждое тѣло, поднятое кверху и предоставленное самому себѣ, опускается книзу; съ помощію натянутаго лука мы можемъ сообщить пущенной изъ него стрѣлѣ весьма быстрое движеніе; вода, нагрѣваемая нами въ какомъ-нибудь сосудѣ, превращается въ пары, которые, какъ извѣстно, по охлажденіи переходятъ снова въ воду. Хотя всѣ эти явленія, обнаруживающіяся *увеличеніемъ*, *зажиганіемъ*, *паденіемъ*, *движеніемъ* и *образованіемъ паровъ*, по видимому, весьма различны между собою но, не взирая на то, они имѣютъ также и сходство другъ съ другомъ. И въ самомъ дѣлѣ, тѣла, подверженныя ихъ вліянію и служащія намъ, такъ сказать, орудіемъ для воспроизведенія ихъ, не претерпѣваютъ существенныхъ и совершенныхъ измѣненій. Въ справедливости этого не трудно убѣдиться приведенными выше явленіями; такъ напр. издающіе звукъ колокола и струны, зажигательное стекло, падающій камень и лукъ остаются тѣмъ чѣмъ были прежде и пріобрѣтаютъ только нѣкоторыя новыя свойства какъ то: производить звукъ, зажигать различныя тѣла и проч.

Подобно химіи отдѣлились отъ общей физики и другія науки явленій.

Испытующій взглядъ человѣка не ограничился только явленіями совершавшимися вокругъ него на поверхности земли. Онъ началъ изслѣдовать движеніе небесныхъ тѣлъ солнца, луны и друг. Хотя явленія эти и не представляли существенныхъ измѣненій въ небесныхъ тѣлахъ, но тѣмъ не менѣе по обширности и разнообразію свѣ- Астрономія.

деній собранныхъ о нихъ встрѣтилась необходимость отдѣлить эти явленія отъ физики и образовать изъ нихъ особенную науку *астрономію*, въ обширную область которой вошло какъ самое описаніе небесныхъ тѣлъ, такъ и изслѣдованіе явленій производимыхъ ими.

Физіологія. Точно также были отдѣлены отъ физики и тѣ явленія, которыя совершаются въ органическихъ тѣлахъ. Явленія эти вошли въ составъ особенной науки *физіологіи*, которая разсматриваетъ какъ физическія такъ и химическія явленія, совершающіяся въ животныхъ и растеніяхъ во всё продолженіе ихъ жизни. Наука эта подраздѣляется на физіологію животныхъ и растеній.

Съ развитіемъ минералогическихъ свѣденій, естествоиспытатели, занимавшіеся минералогіей, начали обращать вниманіе на тѣ явленія, которыя въ настоящее время обусловливаютъ въ иныхъ мѣстахъ видъ земной поверхности. По сличеніи видимыхъ нами преобразованій съ готовыми формами, найденными на землѣ, родилось стремленіе къ объясненію законовъ, по которымъ совершались постепенныя измѣненія земной поверхности отъ первоначальнаго вида ея до настоящаго времени. Такъ напримѣръ, видя образованіе осадковъ у береговъ рѣкъ и сравнивая ихъ съ огромными слоями земли, имѣющими осадочную форму, вывели предположеніе, что форма этихъ слоевъ произошла отъ тѣхъ же самыхъ причинъ, которыя производятъ и нынѣ подобное явленіе. Такимъ образомъ образовалась наука *геологія*, къ которой отошли изъ физики и химіи всѣ явленія какъ принимавшія, такъ и принимающія нынѣ участіе въ различныхъ измѣненіяхъ наружнаго слоя или коры земнаго шара.

Такимъ образомъ за отдѣленіемъ явленій, вошедшихъ въ составъ исчисленныхъ нами наукъ, всѣ остальныя чисто физическія явленія, образовали *частную физику*, называемую обыкновенно просто *физикой*.

Въ приведенномъ нами раздѣленіи естественныхъ наукъ мы указали только на главнѣйшія науки и считаемъ не лишнимъ замѣтить, что каждая изъ послѣднихъ можетъ быть точно также подраздѣлена на части.—Мы не приводимъ здѣсь этого подраздѣленія, потому что разсмотрѣніе его относится собственно ко всякой отдѣльной наукѣ.

Намъ остается прибавить еще, что въ показанномъ раздѣленіи физическихъ наукъ не должно искать слишкомъ строгаго разграниченія, потому что всѣ эти науки занимаются извѣстными частями природы, которая составляетъ одно нераздѣльное цѣлое. Самое же разграниченіе, какъ мы уже говорили, произошло вслѣдствіе необходимости подраздѣлить труды естествоиспытателей изучающихъ природу. По этому при изученіи физики, мы не будемъ ограничиваться сдѣланнымъ нами опредѣленіемъ физики въ тѣсномъ смыслѣ этого слова, но включимъ также явленія и изъ другихъ естественныхъ наукъ. Явленія эти войдутъ въ курсъ физики въ такой мѣрѣ, сколько познаніе ихъ необходимо для объясненія сопредѣльныхъ съ ними физическихъ явленій.

ФИЗИКА.

СУЩЕСТВЕННЫЯ СВОЙСТВА ТѢЛЪ.

Предметъ и цѣль физики.

§ 1. *Физика*, какъ мы уже говорили, занимается только тѣми явленіями, которыя не измѣняютъ существенно свойствъ тѣлъ, служащихъ средствами, для ихъ произведенія.

Къ подобнаго рода явленіямъ мы относимъ *паденіе* камня, *звуки* издаваемые колоколомъ и *увеличиваніе* различныхъ предметовъ помощію стеколъ, потому что тѣла употребляемыя для обнаруженія этихъ явленій не подлежатъ ни какимъ измѣненіямъ. — Такимъ же точно образомъ стекло, пропуская солнечный свѣтъ, не измѣняется нисколько, и самое нагрѣваніе измѣняетъ состояніе нѣкоторыхъ тѣлъ только на время.

Помня это условіе, не трудно отличить всякое физическое явленіе отъ другаго явленія, совершающагося съ нимъ одновременно.

Такъ напр. *теплота*, отдѣляющаяся при горѣніи угля, принадлежитъ къ явленіямъ физическимъ, а самое измѣненіе, претерпѣваемое при этомъ углемъ, т. е. превращеніе его въ пепелъ, относится къ явленіямъ химическимъ.

При изслѣдованіи различныхъ явленій физика имѣетъ цѣлію развитіе законовъ, по которымъ они совершаются. Излагая эти законы, мы будемъ постоянно указывать и на основанныя на нихъ практическія приложенія; которыя играютъ въ настоящее время не маловажную роль въ улучшеніи общественнаго быта.

Чтобы ближе ознакомиться какъ съ составомъ самой науки, такъ и съ порядкомъ, которому будемъ слѣдовать при распредѣленіи отдѣльныхъ частей, считаемъ полезнымъ сдѣлать предварительно *краткое обозрѣніе явленій*, входящихъ въ физику. Но какъ всѣ явленія совершаются въ тѣлахъ, то мы и ознакомимся прежде съ *существенными свойствами* тѣлъ.

Понятіе о протяженіи пространствѣ, и времени. §2. Съ ранней юности человѣкъ пріобрѣтаетъ, посредствомъ осязанія и преимущественно передвиженія своего тѣла съ одного мѣста на другое, понятіе о разстояніи или о *протяженіи* всего, что находится вокругъ него.

Одно чувство зрѣнія не можетъ доставить человѣку этого понятія. Для младенца не существуетъ разстоянія, потому что онъ одинаковымъ образомъ протягиваетъ руку какъ къ предметамъ близкимъ, такъ и къ отдаленнымъ, какъ напр. къ звѣздамъ и др. — Слѣпорожденный, получившій впослѣдствіи зрѣніе посредствомъ операціи, не можетъ тотчасъ оцѣнивать протяженія глазами. Всѣ предметы кажутся ему въ одинаковомъ отдаленіи, но только разной величины.— Только передвиженіемъ своего тѣла и осязаніемъ видимыхъ предметовъ научается онъ различать отдаленное отъ близкаго и большое отъ малаго.—

Одна привычка употреблять для наблюденія оба эти чувства вмѣстѣ доставляетъ впослѣдствіи возможность полагаться при оцѣнкѣ протяженія на одно только зрѣніе.

Какъ простое разсужденіе, такъ и ежедневное наблюденіе убѣждаютъ насъ, что протяженіе можетъ быть измѣряемо по тремъ направленіямъ—въ *длину*, въ *ширину*, и въ *глубину* или въ *высоту*.

Если мы представимъ себѣ, что каждое изъ этихъ трехъ протяженій продолжено на неизмѣримое разстояніе, то въ умѣ нашемъ составится понятіе о неограниченномъ протяженіи, извѣстномъ подъ общимъ названіемъ *пространства*.

Точно также въ каждомъ человѣкѣ чрезъ разнообразіе и повтореніе окружающихъ его предметовъ образуется понятіе о *числѣ*,—между тѣмъ какъ послѣдовательное повтореніе явленій рождаетъ въ немъ понятіе о *времени*. — Понятіе о послѣднемъ можетъ доставить намъ простая послѣдовательность нашихъ мыслей. Для оцѣнки какъ числа, такъ и времени мы должны имѣть какую нибудь условную величину. Перемѣна дыханія, біеніе пульса, смѣна дня и ночи и временъ года, принадлежатъ къ явленіямъ, которыя помогаютъ намъ какъ измѣрять, такъ и подраздѣлять время.

Изъ этого видно, что пространство, число и время суть отвлеченныя понятія, проистекающія отъ совокупнаго взгляда на тѣла и явленія.—Ближайшее разсмотрѣніе этихъ понятій составляетъ предметъ особой науки, называемой *математикою*, къ помощи которой прибѣгаютъ весьма часто при изслѣдованіи природы.

Матерія. § 3. Все то, что наполняетъ пространство, и вмѣстѣ съ тѣмъ можетъ быть доступно нашему осязанію, есть *матерія* или вещество.

Физическое тѣло. Матерія, *занимающая извѣстную и опредѣленную часть* безпредѣльнаго пространства, называется *физическимъ тѣломъ*, въ отличіе отъ воображаемаго или *геометрическаго тѣла*, представляющаго намъ извѣстную часть пространства,независимо отъ вещества наполняющаго его.

Такъ какъ въ физикѣ разсматриваются только физическія тѣла, то употребляя слово «тѣло», мы будемъ всегда придавать ему физическое значеніе.

Существенныя свойства. Вслѣдствіе составленнаго нами понятія о тѣлахъ, мы приписываемъ имъ слѣдующія *существенныя свойства*, составляющія такъ сказать необходимое условіе ихъ существованія: *протяженность*

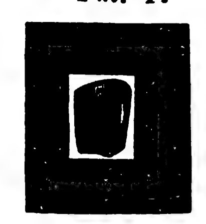
непроницаемость, инерцію и способность взаимно дѣйствовать другъ на друга.

§ 4. Подъ *протяженностію* мы разумѣемъ свойство каждаго тѣла занимать извѣстную часть пространства. — Это занятіе пространства можетъ совершаться по тремъ направленіямъ въ длину, въ ширину, въ глубину или въ высоту. Хотя каждое тѣло должно имѣть всѣ эти три рода протяженія, но весьма часто случается, что одно, а иногда и два изъ нихъ бываютъ чрезвычайно малы относительно третьяго, а потому при разсмотрѣніи протяженія занимаего тѣломъ могутъ быть оставляемы безъ вниманія. Такъ напримѣръ разсматривая слой позолоты, покрывающій тонкую серебрянную проволоку, мы не обращаемъ вниманія на толстоту слоя, потому что она до чрезвычайности незначительна относительно длины и діаметра проволоки. Протяженность.

Изъ самаго опредѣленія протяженности слѣдуетъ, что каждое изъ трехъ протяженій тѣла должно имѣть предѣлы или границы, обозначающія намъ *наружный видъ* или *фигуру* его.

Наружный видъ различныхъ тѣлъ природы бываетъ весьма разнообразенъ. Такъ напр. мы встрѣчаемъ въ природѣ тѣла, ограниченныя правильно углами, боками и линіями, какъ это мы можемъ видѣть въ различныхъ минералахъ алмазѣ, шпатѣ и др. Такая форма тѣлъ называется *кристаллами* (ф. 1). Не менѣе минераловъ изумляютъ насъ правильностію формъ и расположеніемъ самыхъ малѣйшихъ своихъ частицъ различныя растительныя и животныя тѣла. — Примѣромъ тому служатъ тончайшія пылинки на крыльяхъ мотыльковъ; если смотрѣть на крылья ихъ въ увеличительное стекло, то они представляются цѣлымъ рядомъ правильно расположенныхъ перушекъ. При этомъ должно замѣтить, что органическія тѣла бываютъ ограничены преимущественно кривыми, а неорганическія ломанными линіями.

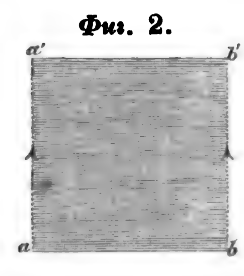
Фиг. 1.



Величина пространства занимаемаго тѣломъ называется его *объемомъ*. Подобно наружному виду и объемъ тѣлъ бываетъ весьма различенъ. Для сравненія объемовъ тѣлъ необходимо производить *измѣреніе* ихъ. Измѣрить объемъ какого нибудь тѣла значить опредѣлить сколько разъ заключается въ немъ извѣстный и условно принятый нами объемъ, который обыкновенно называютъ *мѣрою* или *единицею*. При этомъ необходимо имѣть точное понятіе о самой единицѣ. Сверхъ того за основаніе мѣръ должно выбирать такія величины въ самой природѣ, чтобы въ случаѣ утраты возможно было замѣнить ихъ новыми. Древніе при выборѣ своихъ мѣръ упустили изъ виду это обстоятельство и потому въ настоящее время, не находя болѣе древнихъ мѣръ и незная на чемъ онѣ были основаны, мы не можемъ извлечь ни какой пользы изъ дошедшихъ до насъ однихъ названій древнихъ мѣръ. Измѣреніе протяженій.

Для полученія единицы объема необходимо прежде опредѣлить единицу протяженія по прямой линіи или, говоря другими словами, *единицу длины.*

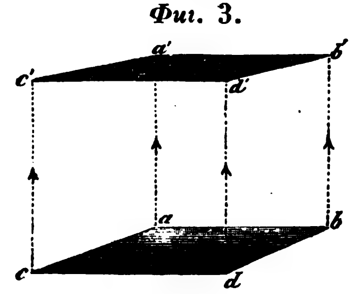




Фиг. 2.

Отъ единицы длины не трудно перейти къ единицѣ поверхности или къ *квадратной единицѣ.* Если приложить къ стѣнѣ горизонтальную палочку ab (фиг. 2) длиною въ дюймъ и передвинуть эту палочку по стѣнѣ отвѣсно къ первоначальному направленію на разстояніе дюйма, то пройденная палочкою поверхность aba'b' выразитъ намъ *квадратный дюймъ.*

Съ помощію единицы поверхности легко уже перейти къ единицѣ объема или къ такъ называемой *кубической единицѣ.*

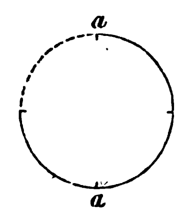


Фиг. 3.

Если кусокъ дощечки, abcd (фиг. 3), величиною въ квадратный дюймъ поднять отвѣсно надъ столомъ, такъ чтобы всѣ точки дощечки при новомъ положеніи ея a'b'c'd' отстояли отъ соотвѣтственныхъ точекъ стола abcd на разстояніи дюйма, то пройденное дощечкою пространство дастъ намъ *кубическій дюймъ.*

Въ каждомъ государствѣ употребляютъ особенныя единицы длины. У насъ въ Россіи за единицу длины принимаютъ *русскій* или *англійскій футъ,* самый точный образецъ котораго хранится на монетномъ дворѣ въ С. Петербургѣ.—Русскій футъ дѣлятъ подобно англійскому на 12 равныхъ частей называемыхъ *дюймами,* изъ которыхъ каждый подраздѣляется на 10 частей именуемыхъ *линіями.* Семь русскихъ футовъ составляютъ *сажень,* а 500 саженъ составляютъ *версту.* Въ настоящее время во Франціи основною мѣрою считается *метръ,* употребляемый также учеными и въ другихъ странахъ. Новая французская система мѣры, введенная съ 1789 года, отличается отъ прочихъ простотою своихъ подраздѣленій, происходящихъ отъ различныхъ видоизмѣненій числа 10-ти. Основаніемъ этой системы принята четвертая часть большаго круга, проходящаго на земномъ шарѣ чрезъ оба полюса *a* и *a* и называемаго меридіаномъ (ф. 4). Дуга эта была измѣрена учеными съ величайшею точностію и раздѣлена на 10 милліоновъ равныхъ частей. Одну изъ такихъ частей дуги назвали *метромъ* и приняли ее за *единицу* длины (1 метръ равенъ 1 русскому аршину 1 четверти и 2 съ половиною вершкамъ). Отъ раздѣленія метра на 10 произошли меньшія мѣры, названныя латинскими числительными именами, а отъ умноженія его на 10 произошли большія мѣры, получившія греческія названія.

Фиг. 4.

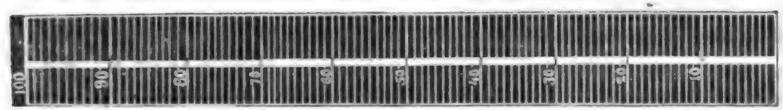


Меньшія мѣры.		*Большія мѣры.*	
Дециметръ	= $\frac{1}{10}$ метра	Декаметръ	= 10 метр.
Сантиметръ	= $\frac{1}{100}$ — —	Эктометръ	= 100 — —
Милиметръ	= $\frac{1}{1000}$ — —	Километръ	= 1000 — —
		Миріаметръ	= 10000 — —

Так. образ. Метръ M.	Дециметръ D. M.	Сантиметръ Cm.	Милиметръ mm.
1 =	10 =	100 =	1000
	1 =	10 =	100
		1 =	10
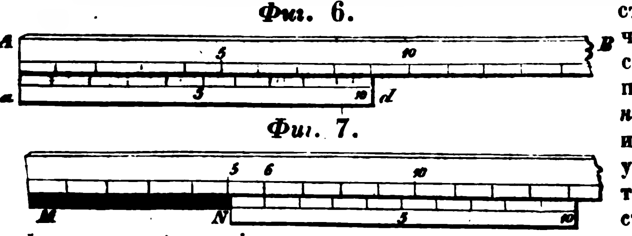
Фиг 5-я показываетъ намъ дециметръ, раздѣленный на сантиметры и миллиметры.

Фиг. 5.



Весьма часто случается, что при измѣреніи длины даже самою малою мѣрою получается незначительный остатокъ. При измѣреніяхъ, требующихъ точности, опредѣляютъ величину этого остатка посредствомъ особеннаго прибора, называемаго *ноніусомъ* или *верньеромъ* и какъ этотъ приборъ употребляется при нѣкоторыхъ физическихъ инструментахъ, то мы и сдѣлаемъ его описаніе. —

Фиг. 6.



Фиг. 7.

Онъ состоитъ, какъ показываетъ фиг. 6, изъ двухъ линеекъ. — Большая линейка AB неподвижна и раздѣлена на равныя части; меньшая же линейка *ad*, называемая собственно *ноніусомъ*, дѣлается подвижною. — Послѣдней линейкѣ даютъ длину равную 9 частямъ верхней линейки и раздѣляютъ ее на 10 равныхъ частей. — Слѣдовательно каждое дѣленіе линейки *ad* одною десятою частью менѣе противу каждаго дѣленія линейки *AB*. Положимъ, что требуется измѣрить длину предмета *MN*. Предметъ этотъ, какъ показываетъ фиг. 7-я, помѣщаютъ по длинѣ линейки и наприм. находятъ, что длина его равна дѣленіямъ верхней линейки съ небольшою частію.—Для точнаго опредѣленія этой части служитъ ноніусъ. — Съ этою цѣлію подвигаютъ его вдоль неподвижной линейки *AB*, послѣ того отыскиваютъ въ какомъ мѣстѣ происходитъ совпаденіе дѣленій обѣихъ линеекъ. Положимъ, что первое дѣленіе ноніуса совпало съ 6 дѣленіемъ верхней линейки. — Такъ какъ каждое дѣленіе ноніуса одною десятою частію менѣе каждаго дѣленія верхней линейки, то значитъ, что длина предмета *MN* равна 5 и $\frac{1}{10}$ части дѣленія верхней линейки.—Если совпаденіе будетъ на второмъ дѣленіи ноніуса, то значитъ, что опредѣляемый избытокъ превосходитъ 5 дѣленій верхней линейки разницею между двумя дѣленіями верхней линейки и двумя дѣленіями ноніуса т. е. $\frac{2}{10}$; слѣдовательно длина предмета *MN* будетъ равна въ этомъ случаѣ 5 и $\frac{2}{10}$ частямъ дѣленія верхней линейки. Точно также легко опредѣлить величину избытка при совпаденіи третьяго, четвертаго и т. д. дѣленій ноніуса.

Изъ сдѣланнаго нами объясненія понятно, что при болѣе мелкомъ дѣленіи верхней линейки соотвѣтственно тому должны быть уменьшены и дѣленія ноніуса. — Для отысканія совпаденія слишкомъ мелкихъ дѣленій придѣлываютъ къ ноніусу увеличительное стекло.

При измѣреніи дѣленій круга ноніусу даютъ дугообразную форму.

§ 5. Но протяженность не составляетъ еще единственнаго существеннаго признака опредѣляющаго тѣла. Никто конечно не будетъ утверждать, что изображеніе, представляемое зеркаломъ, либо тѣнь отъ какого-нибудь предмета, принадлежатъ къ тѣламъ, хотя упомянутое изображеніе и тѣнь обладаютъ протяженностію и ограничены извѣстными предѣлами. Непроницаемость.

Всякое тѣло должно *наполнять* занятое имъ пространство такимъ образомъ, чтобы *въ то же самое время* не могло заключаться въ этомъ пространствѣ другаго тѣла. Это свойство тѣлъ, называемое *непрони-*

цаемостiю, составляетъ необходимое условiе существованiя всякаго тѣла, потому что еслибы тѣла были проницаемы другъ для друга, то дѣливши каждое изъ нихъ на мельчайшiя части и совмѣщая послѣднiя между собою, мы бы должны были наконецъ допустить, что вся видимая природа можетъ совмѣститься въ одной точкѣ, что очевидно противно и убѣжденiю и опыту.

Но не однимъ разсужденiемъ мы можемъ удостовѣриться въ непроницаемости тѣлъ. Самое простое наблюденiе убѣждаетъ насъ, что на томъ мѣстѣ, гдѣ стоитъ уже человѣкъ или столъ, не можетъ *въ тоже самое время* находиться другой человѣкъ, другой столъ или какое нибудь другое тѣло.

Если узкогорлую воронку плотно вставить въ шейку бутылки, заключающей въ себѣ воздухъ и наполнить воронку водою, то мы увидимъ, что только нѣсколько капель упадутъ книзу, вслѣдствiе незначительнаго сжатiя заключающагося въ бутылкѣ воздуха, между тѣмъ какъ остальная вода останется въ воронкѣ и только тогда польется въ бутылку, когда мы поднимемъ воронку и образуемъ между нею и шейкой бутылки свободное пространство, которое позволитъ воздуху выйти изъ бутылки и уступить свое мѣсто водѣ.

Опуская какое-нибудь твердое тѣло въ сосудъ съ водою, съ перваго взгляда кажется, что вода проницается этимъ тѣломъ, но по внимательномъ разсмотрѣнiи мы найдемъ, что изъ сосуда въ то же самое время вытѣснится извѣстное количество воды, соотвѣтственное объему погруженной части. Такимъ же точно родомъ, при погруженiи руки въ глину или вколачиванiи гвоздя въ дерево, частицы глины и дерева, раздвигаясь въ стороны, уступаютъ свое мѣсто погружаемымъ въ нихъ тѣламъ.

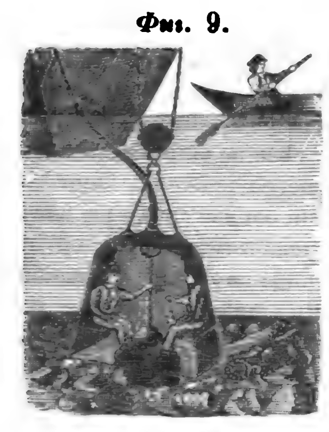
Препятствiе, оказываемое тѣлами во время прикосновенiя къ нимъ, происходитъ вслѣдствiе ихъ непроницаемости.

Воздухъ, наполняющiй пространство также обладаетъ непроницаемостiю подобно прочимъ тѣламъ. Опуская въ воду стеклянную трубочку (ф. 8), заткнутую пальцемъ съ верхняго конца, мы увидимъ, что вода не взойдетъ въ трубку, какъ бы мы глубоко ее ни погружали. Причина этого заключается въ непроницаемости находящагося въ трубкѣ воздуха, который не уступаетъ своего мѣста водѣ. Если же открыть верхнее отверстiе, то вода тотчасъ поднимается въ трубкѣ, потому что заключающiйся въ ней воздухъ будетъ имѣть свободный выходъ.

Фиг. 8.

Если поставить стеклянный колоколъ отверстiемъ на поверхность воды, такъ чтобы воздухъ не могъ выйти изъ подъ колокола и потомъ опустить его книзу, то воздухъ вслѣдствiе своей непроницаемости будетъ препятствовать вступленiю воды въ колоколъ, въ чемъ легко убѣдиться, помѣстивъ предварительно на поверхности воды подъ колоколомъ небольшой зажженый огарокъ восковой свѣчи и утвержденной на кружечкѣ изъ пробковаго дерева. Эта свѣча будетъ горѣть, какъ бы мы глубоко ни погружали колоколъ, что очевидно возможно только въ томъ случаѣ, когда вода не проникаетъ въ послѣднiй. Горѣнiе свѣчи продолжается до тѣхъ поръ, пока не уничтожится подъ колоколомъ необходимая для того составная часть воздуха, называемая кислородомъ, составляющая непремѣнное условiе для поддержанiя не только горѣнiя, но и дыханiя животныхъ, такъ что человѣкъ можетъ оставаться въ запертомъ пространствѣ до тѣхъ поръ, пока будетъ заключаться тамъ достаточное количество кислорода. —

Фиг. 9.



Описанный выше опытъ съ колоколомъ производятъ также въ слѣдующемъ видѣ: устраиваютъ большой колоколъ со скамейками для сидѣнія и окнами (съ толстыми стеклами) для пропусканія свѣта (ф. 9). Внутри помѣщаются люди, которые опускаются вмѣстѣ съ колоколомъ на дно рѣкъ, озеръ, морей для производства различныхъ работъ. Такой колоколъ называется *водолазнымъ*. Въ настоящее время онъ приведенъ въ такое совершенство, что рабочіе могутъ оставаться въ немъ произвольное время подъ водою. — Для этого устраиваютъ въ верхней части колокола непроницаемую для воды трубу, чрезъ которую посредствомъ особеннаго прибора постоянно возобновляютъ воздухъ подъ колоколомъ. — Кромѣ того водолазы снабжаются концомъ веревки, посредствомъ которой они могутъ въ любое время дать знакъ, чтобы тащили колоколъ изъ воды.

Здѣсь замѣтимъ, что подъ выраженіемъ *пустой* сосудъ, разумѣется сосудъ наполненный воздухомъ. — При наполненіи этого сосуда водою или другимъ тѣломъ воздухъ вытѣсняется вонъ.

§ 6. Третье существенное свойство тѣлъ есть *инерція*. Подъ этимъ свойствомъ разумѣютъ неспособность *тѣлъ произвольно* измѣнять положеніе и состояніе, въ которомъ они находятся. Свойство это, называемое также *самонедѣятельностію* или *косностію*, мы выводимъ изъ ежедневныхъ наблюденій, которыя убѣждаютъ насъ, что въ мірѣ не можетъ просходить ни одного дѣйствія безъ причины. Инерція.

Очевиднѣе всего мы можемъ замѣтить свойство инерціи въ томъ случаѣ, когда тѣла находятся въ покоѣ.

Представимъ себѣ, что лежавшій спокойно камень вдругъ началъ бы двигаться. Замѣтивъ это, каждый невольно сдѣлаетъ вопросъ, какая можетъ быть причина этого явленія и никто конечно не подумаетъ, чтобы причина движенія камня заключалась въ самомъ веществѣ его. Еслибы въ комнатѣ вдругъ начала двигаться мебель, отворились бы двери и раздался бы звукъ фортепьяно или другаго инструмента, то всякій, замѣтивъ это, сталъ бы отыскивать причину въ постороннемъ вліяніи, а не въ самомъ веществѣ мебели, дверей и фортепьяно. Если бы нельзя было найти этой причины, то скорѣе каждый согласится принять эти явленія за обманъ чувствъ или за игру воображенія чѣмъ допустить, что вещественныя тѣла нарушили одно изъ главнѣйшихъ основаній своей природы.

Это свойство тѣлъ сохранять состояніе, въ которомъ они находятся и котораго они не могутъ измѣнять по произволу, можетъ быть отнесено и къ тѣламъ животнымъ, гдѣ съ перваго взгляда представляется кажущееся ему противорѣчіе. Хотя животныя по произволу измѣняютъ положеніе своихъ членовъ, но какъ цѣлое тѣло животныхъ такъ и члены ихъ представляютъ намъ сами по себѣ неподвижную массу. Мы знаемъ, что движенія въ

животномъ тѣлѣ состоятъ собственно въ движеніи мускуловъ; но мускулъ самъ по себѣ не можетъ измѣнять ни одного изъ принятыхъ имъ положеній и всякое въ немъ измѣненіе происходитъ вслѣдствіе особенной причины, которая существуетъ независимо отъ вещества мускуловъ, потому что мускулъ отдѣленный отъ тѣла не обнаруживаетъ способности къ самопроизвольному измѣненію своего положенія. Особенная же причина, о которой мы сейчасъ упомянули, заключается въ такъ называемой *жизненной силѣ*, подлежащей изслѣдованіямъ физіологіи.

Точно также можно замѣтить свойство инерціи и при движеніи тѣлъ. Если мы толчкомъ руки приведемъ въ движеніе шаръ по шероховатой дорогѣ, то онъ не будетъ двигаться долго, но остановится, пройдя извѣстное разстояніе. Приведя въ движеніе тотъ же самый шаръ по ровной и гладкой плоскости, какъ напримѣръ по полу или по льду, не трудно замѣтить, что онъ будетъ двигаться гораздо долѣе, нежели въ первомъ случаѣ и движеніе его будетъ тѣмъ продолжительнѣе, чѣмъ глаже самая плоскость, по которой производится движеніе. Такимъ образомъ на неровной и кочковатой дорогѣ повозка останавливается тотчасъ, какъ только лошади перестанутъ ее везти, между тѣмъ какъ на шоссе, для внезапной остановки скачущей повозки, должно осадить лошадей нѣсколько назадъ. Эти и подобныя наблюденія показываютъ намъ, что тѣла имѣютъ стремленіе продолжать постоянно начатое ими движеніе и что ослабленіе и наконецъ совершенное прекращеніе движенія происходитъ единственно отъ вліянія тѣхъ препятствій, которыя тѣла должны преодолѣвать на своемъ пути.

Это стремленіе тѣлъ къ продолженію сообщеннаго имъ движенія очевидно происходитъ отъ *инерціи* матеріи.

Но не однимъ только отношеніемъ къ состоянію движенія и покоя обусловливается свойство инерціи. — Подъ этимъ свойствомъ мы должны разумѣть вообще неспособность тѣлъ ко всякому произвольному *измѣненію* своего состоянія; и въ самомъ дѣлѣ какъ опытъ такъ и наблюденіе удостовѣряютъ насъ, что ни одно тѣло само по себѣ, безъ посторонней причины, не можетъ обнаруживать ни свѣта, ни теплоты, ни тому подобныхъ явленій.

Свойствомъ инерціи мы пользуемся весьма часто въ общежитіи. Изъ множества примѣровъ примѣненія этого свойства мы укажемъ здѣсь на одинъ самый обыкновенный; такъ напр. обмакнувъ перо глубоко въ чернильницу и желая освободить его отъ избытка чернилъ, мы встряхиваемъ его, т. е. доставляемъ ему быстрое движеніе, которое потомъ прекращаемъ внезапно. Такъ какъ связь жидкости съ перомъ гораздо слабѣе нежели связь послѣдняго съ нашею рукою, то при внезапномъ останавливаніи движенія пера жидкость отрывается отъ него и продолжаетъ сообщенное ей движеніе. — Стряхиваніе воды съ мокраго бѣлья или съ шляпы смоченной дождемъ и т. п. явленія основаны на томъ же свойствѣ тѣлъ.

Взаимное дѣйствіе тѣлъ.

§ 7. На основаніи свойства инерціи каждое тѣло должно оставаться само по себѣ постоянно неизмѣннымъ. По этому тѣла, однажды нахо-

двишіяся въ покоѣ, должны бы оставаться вѣчно и неизмѣнно на своихъ мѣстахъ, тогда какъ двигающіяся тѣла должны бы совершать вѣчное движеніе. Но какъ подобный взглядъ, вытекающій изъ условія, что тѣла обладаютъ только одною инерціею, противорѣчитъ тому, что мы видимъ на самомъ дѣлѣ, то должно допустить, что кромѣ инерціи тѣла одарены также способностію взаимно дѣйствовать другъ на друга и чрезъ то измѣнять всѣ принимаемыя ими состоянія, къ сохраненію которыхъ побуждаетъ ихъ инерція.

Неизвѣстную для насъ причину этого взаимнаго дѣйствія тѣлъ, составляющаго такъ сказать *дѣятельное* свойство матеріи, мы условились называть *силой*, которая по самому различію взаимнаго дѣйствія тѣлъ носитъ различныя названія: притяженія, теплоты, свѣта и др.

—

КРАТКОЕ ОБОЗРѢНІЕ ФИЗИЧЕСКИХЪ ЯВЛЕНІЙ.

§ 8. Опытъ показываетъ намъ, что помощію извѣстныхъ средствъ, мы можемъ дѣлить на части всякое тѣло. Такимъ образомъ камни и зерна измалываются въ самую мелкую пыль и муку; металлы посредствомъ напилка превращаются въ мельчайшія порошинки; молотомъ вытягиваютъ металлы въ тончайшіе листы или нити, которыя бываютъ даже тоньше волоса. Дѣлимость тѣлъ.

Дѣлимость тѣлъ можетъ быть производима или помощію извѣстныхъ орудій, или помощію силъ природы. Въ первомъ случаѣ дѣлимость называется *механическою*, а въ послѣднемъ *физическою*.

До какой значительной степени можетъ простираться механическая дѣлимость тѣлъ мы можемъ видѣть изъ примѣровъ. Такъ напр. шелковичный червь выпускаетъ изъ себя такія тонкія нити, что цѣлая сотня ихъ, положенная рядомъ, помѣщается поперегъ проведенной черты (-). Вытягиваемыя изъ металловъ нити представляютъ, въ этомъ отношеніи, еще болѣе изумительный примѣръ: 140 такихъ нитей, положенныхъ рядомъ, едва могутъ сравниться толщиною съ самой тонкою шелковинкой.

Дѣлимость тѣлъ, достигаемая физическимъ путемъ, далеко превосходитъ дѣлимость механическую. Такъ напр. если распустить небольшое зернышко кармина въ цѣломъ стаканѣ воды, то въ каждой каплѣ послѣдней мы замѣтимъ красноватый цвѣтъ. Одинъ гранъ яда, называемаго *стрихниномъ* придаетъ горькій вкусъ цѣлому ведру воды. Кусочекъ мускуса, вѣсомъ въ гранъ, въ теченіе 20 лѣтъ можетъ наполнять своимъ запахомъ комнату и нисколько не уменьшится отъ того въ вѣсѣ.



Хотя примѣры эти и показываютъ намъ, что дѣлимость каждаго тѣла можетъ быть доведена до предѣловъ совершенно ускользающихъ отъ нашихъ чувствъ, но тѣмъ не менѣе нельзя предполагать, чтобы она не имѣла вовсе границъ. — Если мы допустимъ, что дѣлимость тѣлъ простирается до безконечности, или, говоря другими словами, что величина послѣднихъ недѣлимыхъ частицъ обратится въ ничто и будетъ равна нулю, то какимъ же образомъ изъ совокупности такихъ частицъ, неимѣющихъ протяженія, можетъ образоваться непроницаемое тѣло, занимающее извѣстное мѣсто?

Атомы. Это приводитъ насъ къ заключенію, что всѣ тѣла природы состоятъ изъ мельчайшихъ частицъ матеріи, называемыхъ *атомами* или *недѣлимыми*, которые, какъ показываетъ самое ихъ названіе, уже не могутъ быть подраздѣляемы на мельчайшія доли. Частицы эти должны быть такъ малы, что мы не только не въ состояніи ихъ видѣть простыми глазами, но даже и при помощи самыхъ сильныхъ увеличительныхъ стеколъ.

Изъ этого слѣдуетъ, что не должно смѣшивать атомовъ съ малѣйшими *частицами* тѣла, которыя могутъ быть доступны или прямо нашимъ глазамъ, или при помощи какихъ нибудь искусственныхъ средствъ.

Изъ составленнаго нами понятія о непроницаемости тѣлъ мы должны заключить, что и атомы, какъ частицы матеріи, обладаютъ также этимъ существеннымъ свойствомъ.

Скважность. § 9. Но при этомъ рождается вопросъ, прикасаются ли атомы плотно другъ ко другу или находятся въ извѣстномъ отдаленіи между собою. Опытъ показываетъ намъ, что всѣ тѣла обладаютъ въ бо̀льшей или меньшей степени свойствомъ *сжимаемости*, которое позволяетъ каждому тѣлу принимать отъ давленія меньшій объемъ противу первоначальнаго своего состоянія. Такъ напр. мы знаемъ, что металлы принимаютъ отъ ковки меньшій объемъ. А какъ атомы непроницаемы другъ для друга, то значитъ, что между ними должны заключаться промежутки. Судя по бо̀льшей или меньшей степени сжимаемости тѣлъ, очевидно что и самые промежутки между атомами, ихъ составляющими, бываютъ болѣе или менѣе значительны. Эти промежутки между атомами, называемые *по̀рами*, не должно смѣшивать съ тѣми скважинами, которыя могутъ быть замѣчены даже простыми глазами въ нѣкоторыхъ тѣлахъ какъ напр. у губки, дерева, и др. Въ существованіи промежутковъ между атомами мы убѣждаемся только при помощи опыта. Такимъ образомъ, если наполнить водою шаръ изъ желѣза или золота и закупорить его плотно, то послѣ сильнаго давленія на металлическую пробку, мы увидимъ, что вода покроетъ наружную поверхность шара мельчайшими каплями, а какъ золото при этомъ не разрывается и сохраняетъ первобытный свой видъ, и какъ вода не могла пройти наружу чрезъ непроницаемыя частицы золота, то значитъ, что между ними должны заключаться промежутки. Если мы не можемъ видѣть этихъ поръ простыми глазами и даже помощію самыхъ сильныхъ увеличительныхъ стеколъ,

то это нисколько не опровергаетъ ихъ существованія и служитъ только доказательствомъ чрезвычайной ихъ малости.

Опытъ доказывающій *скважность* золота былъ произведенъ флорентинскими академиками въ 1661 году.

Изъ всѣхъ тѣлъ стекло оказываетъ наиболѣе препятствія проходу черезъ него воды и воздуха, но и оно можетъ быть подвержено нѣкоторому, хотя и весьма незначительному, сжатію.

Изъ сказаннаго нами видно, что подъ *объемомъ* каждаго тѣла Масса. должно разумѣть пространство, въ которомъ заключаются какъ атомы его составляющіе, такъ и самые промежутки или пòры, находящіеся между ними. Совукопность атомовъ каждаго тѣла называется его *массою*. Изъ понятія о расположеніи атомовъ въ тѣлахъ не трудно убѣдиться, что для болѣе опредѣлительнаго понятія о массѣ тѣла необходимо опредѣлить отношеніе, въ которомъ находится пространство занятое массою къ цѣлому объему тѣла.

Въ общежитіи мы обыкновенно говоримъ, что тѣла расположены Плотность. *плотно* между собою въ томъ случаѣ, когда они въ опредѣленномъ пространствѣ находятся близко другъ отъ друга. Понятіе это приспособили и къ расположенію атомовъ въ тѣлахъ и сравнивая между собою два тѣла, изъ которыхъ одно заключаетъ въ извѣстномъ пространствѣ болѣе массы противъ другаго, говорятъ, что первое тѣло *плотнѣе* противу втораго. Это значитъ, что въ первомъ тѣлѣ атомы расположены ближе между собою нежели въ послѣднемъ. Слѣдовательно слово *плотность* выражаетъ величину массы въ опредѣленномъ объемѣ. Чтобы имѣть возможность сравнивать между собою плотности различныхъ тѣлъ необходимо выбрать какую нибудь условную единицу *плотности*. Этимъ масштабомъ для сравненія плотностей служитъ масса воды, занимающая извѣстный объемъ равный *единицѣ*. Поэтому величина массы всякаго тѣла выражается числомъ, показывающимъ намъ, сколько разъ его масса болѣе или менѣе противу массы воды, заключающейся въ одномъ объемѣ со сравниваемою массою. На этомъ основаніи если говорятъ, что плотность золота есть 19, то это значитъ, что золото въ опредѣленномъ объемѣ заключаетъ въ 19 разъ болѣе массы противу того же объема воды.

Но при этомъ очевидно раждается вопросъ какимъ же образомъ можетъ быть опредѣлена масса или число частицъ воды, заключающееся въ единицѣ ея объема. Такъ какъ мы не имѣемъ возможности ни сосчитать числа этихъ частицъ, ни опредѣлить точную величину каждой матеріяльной частицы, то и употребляютъ съ этою цѣлію особеннаго рода мѣру, которая будетъ показана нами впослѣдствіи при объясненіи притяженія оказываемаго землею на всѣ тѣла.

Если мы означимъ чрезъ V объемъ какого нибудь тѣла, чрезъ M количество заключающейся въ немъ массы, а чрезъ D число частицъ въ единицѣ объема, то очевидно, что мы получимъ массу тѣла M въ томъ случаѣ, когда помножимъ число частицъ въ единицѣ объема D на объемъ тѣла V; $M = V.D.$ Отсюда нетрудно получить величину $D = \frac{M}{V}$ т. е. что *плотность равна массѣ раздѣленной на объемъ*.



Частичное притяженіе. § 10. Зная, что всѣ тѣла состоятъ изъ разобщенныхъ порами атомовъ нельзя не спросить, какимъ образомъ эти разобщенныя частицы сохраняютъ связь между собою и образуютъ тѣла? Если бы атомы были совершенно свободны и независимы другъ отъ друга, то вся земля съ находящимися на ней тѣлами представляла бы собою безсвязную рыхлую кучу мельчайшей пыли, въ которой каждый атомъ обнаруживалъ бы только непроницаемость относительно прилегающихъ къ нему атомовъ. Но изъ дѣйствительнаго состоянія тѣлъ мы должны заключить, что атомы связаны между собою особою *притягательною* силою. Въ существованіи этой силы, называемой также *сцѣпленіемъ*, убѣждаетъ насъ и опытъ, потому что при вытягиваніи тѣлъ или при отдѣленіи отъ нихъ частицъ мы встрѣчаемъ обыкновенно извѣстное сопротивленіе.

Ближайшее дѣйствіе этой силы заключается, по мнѣнію физиковъ, въ образованіи изъ однородныхъ атомовъ отдѣльныхъ группъ, называемыхъ *частицами* и въ соединеніи этихъ группъ въ доступныя для измѣренія *части*, отъ совокупленія которыхъ уже происходятъ *тѣла*.

Частичное отталкиваніе. § 11. Но не одна только притягательная сила участвуетъ въ образованіи тѣлъ.

Подвергая тѣла сжатію т. е. сближая атомы ихъ между собою, съ перваго взгляда можно подумать, что отъ того должно бы еще болѣе увеличиться притяженіе между атомами. Но на самомъ дѣлѣ выходитъ противное, потому что при сжатіи мы встрѣчаемъ обыкновенно сопротивленіе, которое постоянно становится сильнѣе, по мѣрѣ большаго сближенія частицъ, такъ что для сильнѣйшаго сжатія тѣла необходимо употребить и болѣе значительную силу. Это показываетъ намъ, что въ каждомъ тѣлѣ должна также существовать, между атомами и такая сила, которая противится сближенію ихъ и усиливается по мѣрѣ увеличенія самаго сближенія. Эту силу, въ противоположность первой, называютъ *отталкивающею* или *расширительною*. Очевидно, что эта сила удерживаетъ атомы въ извѣстномъ отдаленіи другъ отъ друга и служитъ причиною скважности тѣлъ.

Оба эти вида разнородныхъ силъ, дѣйствующихъ между частицами тѣла, называютъ *частичными силами*.

Дѣйствіе частичныхъ силъ можетъ совершаться *на безконечно маломъ* разстояніи. Въ справедливости этого мы можемъ убѣдиться изъ слѣдующаго обстоятельства: если раздробить тѣло или привести его въ порошокъ, то сколько бы мы ни держали частицы въ совокупности онѣ не будутъ обнаруживать прежней связи, потому что мы не имѣемъ возможности привести частицы въ такое близкое разстояніе, которое существовало между ними до раздробленія или растиранія тѣла.

Различныя состоянія тѣлъ. § 12. Отъ взаимнаго отношенія между притягательной и отталкивающей силами зависитъ и самый образъ скопленія частицъ въ тѣлахъ.

Обыкновенно различаютъ два рода скопленія частицъ. Или частицы бываютъ такъ соединены между собою притяженіемъ, что

для отдѣленія ихъ другъ отъ друга потребно значительное усиліе или связь между отдѣльными частицами такъ мала, что достаточно самой незначительной силы для взаимнаго ихъ разъединенія. Перваго рода тѣла напр. камень, дерево, называются *твердыми*, а втораго — *жидкими*, (напримѣръ вода, воздухъ и т. п.). Чтобы убѣдиться въ томъ, что частицы жидкихъ тѣлъ, не взирая на подвижность и легкость своего разъединенія, обладаютъ въ извѣстной степени притягательной силой, стоитъ только взять каплю воды на оконечность стеклянной палочки. Мы увидимъ, что капля не распадется на мельчайшія части, но будетъ сохранять шарообразный видъ. Значитъ между частицами капли должно существовать извѣстное притяженіе, которое удерживаетъ нижнюю часть капли въ прикосновеніи съ верхнею. При этомъ раждается вопросъ, почему въ большихъ массахъ вода и другія жидкости не имѣютъ, подобно твердымъ тѣламъ, самобытнаго вида, а принимаетъ форму сосудовъ ихъ заключающихъ. Для объясненія этого должно припомнить сказанное нами въ введеніи о притяженіи между землею и тѣлами отдѣленными отъ ней. Притяженіе земли заставляетъ верхнія частицы стремиться книзу и производить на частицы лежащія подъ ними извѣстное давленіе, которое бываетъ достаточно для побѣжденія слабаго притяженія между остальными частицами. Вслѣдствіе того частицы теряютъ шарообразный видъ и устремляются въ стороны. Поэтому для сохраненія жидкостей мы должны ограждать ихъ такими преградами, которыя могли бы воспрепятствовать ихъ распаденію.

Жидкія тѣла этого рода называютъ *капельно-жидкими* или *несжимаемыми жидкостями*, потому что при сильномъ давленіи они обнаруживаютъ весьма малое уменьшеніе своего объема. Къ такаго рода жидкимъ тѣламъ относятся вода, спиртъ, масло и т. п. Но есть и такія жидкія тѣла, которыхъ частицы оказываютъ постоянное стремленіе ко взаимному разъединенію и къ увеличенію пространства ими занимаемаго, такъ что, для удержанія въ соединеніи частицъ этихъ тѣлъ, мы должны заключать ихъ въ запертые со всѣхъ сторонъ сосуды. Такія жидкія тѣла называются *воздухообразными*. Примѣромъ ихъ можетъ служить намъ воздухъ. Но что и между частицами этихъ тѣлъ существуетъ притяженіе, мы можемъ видѣть изъ слѣдующаго обстоятельства. Нѣкоторыя изъ этихъ тѣлъ, какъ показываетъ опытъ, переходятъ въ жидкое состояніе когда, при сильномъ давленіи, частицы ихъ приходятъ въ болѣе близкое прикосновеніе между собою. Весьма часто несжимаемыя жидкости называются просто *жидкими тѣлами*, а сжимаемыя *газами*.

Эти три вида тѣлъ: *твердый*, *жидкій* и *воздухообразный*, называются въ физикѣ *состояніями скопленія атомовъ* или просто *состояніями тѣлъ*.

Но показанное нами различіе дѣйствія частичныхъ силъ въ тѣлахъ не служитъ еще осязательнымъ признакомъ для опредѣленія состояній тѣлъ. Для этого необходимо найти—какимъ образомъ обу-

словливаются для нашихъ чувствъ взаимное дѣйствіе частичныхъ силъ въ различныхъ состояніяхъ тѣлъ: въ твердомъ, жидкомъ и воздухообразномъ? Чтобы удовлетворить этому условію стоитъ только показать зависимость формы и объема тѣлъ отъ дѣйствія внѣшнихъ причинъ. Такъ напр. твердое тѣло имѣетъ *форму* и *объемъ* постоянный, жидкость измѣняетъ *форму*, но сохраняетъ *объемъ*, а газы измѣняютъ и *форму* и *объемъ*.

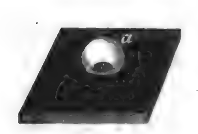
Упругость. Во всѣхъ этихъ трехъ состояніяхъ, между притяженіемъ и отталкиваніемъ атомовъ, *существуетъ равновѣсіе*, безъ котораго дѣйствіе каждой изъ частичныхъ силъ въ отдѣльности было бы гораздо значительнѣе, чѣмъ оно происходитъ на самомъ дѣлѣ.

Какъ разсужденіе такъ и опытъ показываютъ намъ, что равновѣсіе это можетъ быть нарушено дѣйствіемъ внѣшнихъ силъ. Сдавливая тѣло, мы очевидно не уничтожаемъ отталкивающей силы, но только дѣйствуемъ за одно съ силою притяженія между атомами, точно также какъ при растягиваніи тѣла дѣйствуемъ за одно съ отталкивающей силой. Если послѣ сдавливанія или растягиванія предоставить обѣ частичныя силы собственному своему дѣйствію, то онѣ будутъ стремиться притти въ первоначальное состояніе равновѣсія. И въ самомъ дѣлѣ мы видимъ, что, послѣ сдавливанія и растягиванія, тѣла стремятся къ воспріятію прежняго своего вида. Это свойство тѣлъ называется *упругостію*.

Слѣдующій опытъ можетъ дать понятіе объ упругости:

Если на вымазанную сажей мраморную доску положить осторожно шаръ изъ слоновой кости, то въ точкѣ своего прикосновенія съ доскою онъ покроется чернымъ пятнышкомъ. Когда же послѣ того поднять шаръ кверху и опустить его съ извѣстной высоты на доску, то онъ покроется уже круглымъ чернымъ пятномъ, котораго величина будетъ зависѣть отъ высоты паденія шара. Это показываетъ, что частицы шара, падая на доску, въ моментъ своего прикосновенія къ ней сжимаются (фиг. 10) и потомъ снова принимаютъ первоначальную свою форму. — Лукъ для пусканія стрѣлъ и метательныя орудія древнихъ, бросавшія огромныя тяжести на значительное разстояніе, представляютъ примѣры того же свойства.

Фиг. 10.



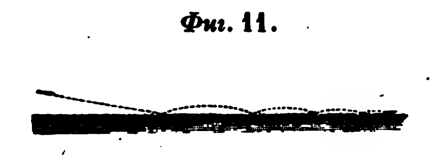
Свойствомъ упругости тѣла обладаютъ въ весьма различной степени. — Такъ напр. извѣстное количество воздуха подверженное сильному сжатію принимаетъ въ одно мгновеніе первоначальное свое состояніе. Вотъ почему и причисляютъ воздухъ къ *совершенно* упругимъ тѣламъ, т. е. къ такимъ тѣламъ, которыя по прекращеніи давленія возстановляютъ совершенно свой первоначальный видъ.

Къ весьма упругимъ тѣламъ причисляютъ струны, каучукъ или резину, стальныя пружины, слоновую кость, китовый усъ, лошадиный волосъ, щетину, извѣстные роды дерева, и тонкія пластинки нѣкоторыхъ металловъ.

У многихъ тѣлъ, какъ напримѣръ у глины, свинца, мѣла, сухаго воска, сала и др. упругость обнаруживается въ незначительной степени и то только при извѣстныхъ обстоятельствахъ. Вотъ почему и называютъ тѣла эти, въ противоположность другимъ, *неупругими*.

Что тѣла эти не вовсе лишены упругости, мы можемъ убѣдиться изъ слѣдующаго опыта. Если сдѣлать два совершенно равные шара напр. изъ глины и по высушеніи повѣсить ихъ на двухъ одинаковыхъниткахъ такъ, чтобы шары прикасались самымъ незначительнымъ числомъ точекъ, то опустивъ оба шара съ извѣстной высоты, увидимъ, что по прикосновеніи своемъ они оттолкнутся другъ отъ друга. Оттолкновеніе это, не взирая на свою незначительность, все таки служитъ доказательствомъ упругости глины, потому что въ противномъ случаѣ шары должны бы оставаться въ совершенномъ покоѣ.

Фиг. 11.

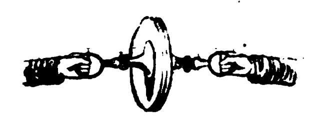


Въ упругости воды, доказанной опытами Персона, можно удостовѣриться также прыжками, которые производитъ камень брошенный косвенно на поверхность ея. (Фиг. 11).

Стекло обладаетъ также упругостію; посредствомъ особеннаго производства вытягиваютъ изъ него тончайшія нити, изъ которыхъ плетутъ корзинки и выдѣлываютъ различныя ткани. Ткани эти при гнутіи не ломаются, и потомъ принимаютъ первоначальный видъ.

§ 14. Говоря о частичныхъ силахъ, мы разумѣли только частичное притяженіе между однородными частями одного и того же тѣла. Но подобнаго рода *частичное* притяженіе обнаруживается также и между разнородными частицами двухъ различныхъ тѣлъ. Этотъ видъ притяженія, въ отличіе отъ сцѣпленія, называется *прилипаніемъ*. Чтобы убѣдиться въ существованіи этого притяженія стоитъ взять двѣ доски изъ одного или изъ двухъ различныхъ тѣлъ (Фиг. 12) и выполировать ихъ такъ чтобы, при прикосновеніи досокъ, наибольшее число частицъ могло придти въ возможно близкое прикосновеніе между собою. И въ этомъ случаѣ обнаруживается такое притяженіе, которое не позволяетъ уже разнять досокъ безъ значительнаго усилія. Прилипаніе.

Фиг. 12.

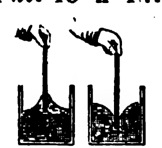


Подобное притяженіе происходитъ также между твердыми и жидкими и вообще между тѣлами различныхъ состояній.

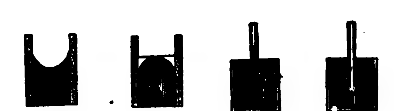
Главнѣйшее свойство этого рода частичнаго притяженія заключается въ томъ, что каждое изъ тѣлъ притягивающихъ другъ друга сохраняетъ первобытный свой видъ.

На частичное притяженіе, прикасающихся поверхностей, имѣетъ значительное вліяніе самый ихъ *составъ*. Чтобы обнаружить послѣднее обстоятельство стоитъ только погрузить одну и туже стеклянную палочку въ воду (фиг. 13) и въ ртуть (фиг. 14): поднимая палочку изъ воды мы поднимемъ вмѣстѣ съ нею и частицы жидкости, между тѣмъ какъ частицы ртути не будутъ приставать къ палочкѣ. Если вмѣсто палочки погрузить въ воду и въ ртуть стеклянную трубку, то повторятся тѣже явленія какъ и въ предъидущемъ случаѣ: вода притянутая стекломъ поднимется по его стѣнкамъ и произведетъ углубленіе (фиг. 15), между тѣмъ какъ непристающая къ стеклу ртуть составитъ полукругое возвышеніе (фиг. 16).

Фиг. 13 и 14.



Фиг. 15, 16, 17 и 18.



Если же для опыта употребить весьма узкія трубки, то вода (фиг. 17) нетолько поднимется по краямъ сосуда, но взойдетъ даже въ самую трубку и станетъ выше прочей жидкости. Таже самая трубка (фиг. 18), погруженная въ непристающую къ стеклу ртуть, представляетъ совершенно обратное явленіе: поверхность ртути въ узкой трубкѣ будетъ стоять ниже поверхности остальной жидкости. Узкія трубки, употребляемыя для этихъ опытовъ, называются *волосными*, а самое явленіе прилипанія, обнаруживаемое ими, — *волосностію* или *капилярностію*. (Волосность.)

Мы даемъ здѣсь только общее понятіе о явленіяхъ прилипанія, развитіе и объясненіе которыхъ будетъ сдѣлано нами впослѣдствіи.

(Химическое сродство.) § 15. Если два разнородныя тѣла соединяются между собою для образованія однороднаго цѣлаго, совершенно отличнаго отъ составляющихъ его тѣлъ, то въ этомъ случаѣ происходитъ *химическое соединеніе*. Соединеніе это образуется вслѣдствіе особеннаго рода частичнаго притяженія которое, для отличія отъ описанныхъ нами, называется *химическимъ сродствомъ* или просто *сродствомъ*.

(Тяжесть.) § 16. Всѣ эти виды частичнаго притяженія съ ихъ измѣненіями совершаются только на *безконечно маломъ разстояніи*. Но въ природѣ обнаруживаются также явленія притяженія и на болѣе значительныхъ *разстояніяхъ*.

Ежедневный опытъ показываетъ намъ, что всѣ тѣла поднятыя кверху и предоставленныя самимъ себѣ падаютъ на землю. Но какъ всѣ тѣла по свойству инерціи не могутъ сами собою производить этого явленія, то должна существовать причина или сила, которая заставляетъ ихъ падать книзу.—Простое разсужденіе, приведенное во введеніи, при объясненіи значенія силы, убѣждаетъ насъ что паденіе тѣлъ должно происходить въ этомъ случаѣ отъ притяженія земли. Этого рода притяженіе обнаруживаемое на значительномъ разстояніи обыкновенно называютъ *тяжестію*.

Хотя тѣла поддерживаемыя и не падаютъ книзу, но тѣмъ неменѣе они оказываютъ стремленіе къ этому паденію; мы убѣждаемся въ этомъ неся какое нибудь тѣло въ рукѣ, потому что ощущаемъ постоянное усиліе употребляемое нами для поддержанія тѣла.

Фиг. 19.

Кусокъ свинца привѣшенный къ оконечности нити, въ приборѣ называемомъ *отвѣсомъ* (фиг. 19), стремится также къ паденію и вслѣдствіе этого стремленія вытягиваетъ нить, которая даже разрывается, если сила сцѣпленія ея частицъ бываетъ недостаточна для противодѣйствія стремленію свинца къ землѣ.

Направленіе принимаемое отвѣсомъ показываетъ намъ самымъ точнымъ образомъ направленіе дѣйствія тяжести. Направленіе это, называемое *отвѣснымъ*, всегда составляетъ прямой уголъ съ *поверхностію спокойной воды*. Эта поверхность носитъ названіе *горизонтальной* или *уровня*.

Опытъ и наблюденія показываютъ намъ, что тяжесть дѣйствуетъ на всѣхъ точкахъ земнаго шара—на вершинахъ самыхъ высокихъ горъ, въ самыхъ глубокихъ пещерахъ, на моряхъ, на материкѣ, близь полюса и у экватора, и что нѣтъ ни одного тѣла которое ускользало бы отъ дѣйствія тяжести.

Такъ какъ земля имѣетъ шарообразный видъ, а направленія всѣхъ отвѣсовъ перпендикулярны къ поверхности ея, составляющей такъ сказать продолженную поверхность покрывающихъ ее водъ, то очевидно что всѣ направленія отвѣсовъ должны сосредоточиваться въ земномъ центрѣ. Вѣсъ.

Когда тѣла покоятся на горизонтальной плоскости, то, вслѣдствіе притяженія оказываемаго на нихъ землею, они давятъ отвѣсно на эту опору. Это давленіе оказываемое каждымъ тѣломъ на опору, служащую препятствіемъ паденію его, называется *вѣсомъ* тѣла — Въ общежитіи нерѣдко смѣшиваютъ слова *тяжесть* и *вѣсъ*, тогда какъ подъ первой, должно разумѣть *причину*, а подъ послѣднимъ ея *слѣдствіе*.

Если мы раздробимъ какое нибудь тѣло на мельчайшія части, то увидимъ что всѣ эти части, не взирая на свою незначительность, будутъ также подчиняться дѣйствію тяжести.—Это позволяетъ намъ заключить, что если тѣло притягивается къ землѣ, то причина притяженія заключается собственно въ непосредственномъ дѣйствіи тяжести на каждый атомъ тѣла.

Представимъ себѣ что земля оказываетъ притяженіе на одинъ атомъ. Чѣмъ можетъ измѣряться величина давленія производимаго имъ на препятствіе непозволяющее ему приближаться къ землѣ? Очевидно силой того притяженія, которое земля оказываетъ на атомъ. Понятно, что если вмѣсто одного будутъ давить на препятствіе два атома, притягиваемые одинаковымъ образомъ землею, то величина давленія, опредѣлявшаяся въ предъидущемъ случаѣ только силой притяженія земли на одинъ атомъ, будетъ теперь вдвое болѣе предъидущаго т. е. умножится на число атомовъ. Слѣдовательно, чтобы получить

давленіе производимое тремя и болѣе атомами, надобно только помножить число атомовъ или массу тѣла на величину притяженія оказываемаго землею на одинъ атомъ. Это отношеніе между массой (M), величиной притяженія (g) земли на одинъ атомъ и давленіемъ которое мы условились называть вѣсомъ (P), можетъ быть выражено уравненіемъ $P=Mg$.

Если мы разсматриваемъ давленіе производимое одной и той же массой M, при одномъ и томъ же притяженіи земли g, напр. на одномъ какомъ либо мѣстѣ, то ясно что величина давленія или вѣсъ массы будетъ оставаться постояннымъ. По этому, если на томъ же мѣстѣ, при той же величинѣ притяженія g, мы возмемъ другую массу M', то вѣсъ ея P' очевидно выразится уравненіемъ $P'=M'g$ Сравнивая это уравненіе съ предъидущимъ, мы получимъ слѣдующую пропорцію: $M: M'=P: P'$, которая показываетъ, что массы двухъ тѣлъ пропорціональны ихъ вѣсамъ т. е. если одна масса вдвое болѣе противу другой, то и вѣсъ ея вдвое болѣе противу другой.

Если мы желаемъ выразить вѣсъ въ единицахъ плотности, то для этого должно только въ уравненіи $P=M. g$ вмѣсто M подставить равную ему величину (§ 9) $M=VD$ и получимъ $P=VD\ g$. Взявши совершенно такой же объемъ V другаго тѣла, котораго вѣсъ P', а плотность D', очевидно, что вѣсъ его P' выразится уравненіемъ $P'=VD'\ g$. Сравнивъ два послѣднія уравненія получимъ $P: P=VD'\ g: VD'g=D: D'$ т. е. что вѣса двухъ тѣлъ равнаго объема относятся между собою какъ ихъ плотности.

При выводѣ уравненія $P=M.\ g$ мы предполагали, что g или притяженіе земли есть величина постоянная. — Но если бы мы опредѣляли давленіе производимое той же самой массой не на землѣ а на другой планетѣ, которая оказываетъ бо́льшее или меньшее притяженіе противу земли, то очевидно, что для одной и той же массы M (совокупности одного и того же числа атомовъ) измѣнился бы тотчасъ вѣсъ P согласно измѣненію величины g. — Если бы притяженіе увеличилось въ шесть разъ, то ясно, что при той же массѣ долженъ во столько же разъ увеличиться и самый вѣсъ. На этомъ основаніи, для означенія массы всякаго тѣла не достаточно только принимать во вниманіе одинъ вѣсъ, а необходимо обращать вниманіе и на величину притяженія.

Желая опредѣлить въ какомъ отношеніи находится масса къ вѣсу и притяженію g, стоитъ только вывести величину ея изъ уравненія $P=M.\ g$, изъ котораго получимъ $M=\frac{P}{g}$. Слѣдовательно, для правильнаго означенія массы, мы всегда должны дѣлить давленіе или вѣсъ, на величину притяженія земли.

Такъ какъ масса тѣла на извѣстномъ мѣстѣ земли можетъ быть выражена его вѣсомъ, то на этомъ основаніи въ обыкновенной жизни масса тѣла всегда опредѣляется *взвѣшиваніемъ*. Обыкновенно при этомъ берутъ условно какое нибудь опредѣленное давленіе за единицу т. е. берутъ за единицу давленіе оказываемое какимъ нибудь тѣломъ извѣстной величины и плотности и, для измѣренія давленія всякаго другаго тѣла, опредѣляютъ—во сколько разъ послѣднее дав-

леніе болѣе или менѣе единицы давленія или единицы вѣса? Эти условныя единицы вѣса, называемыя *гирями* или разновѣсками, не взирая на одинаковое наименованіе не имѣютъ одинаковаго значенія во всѣхъ государствахъ. Въ Россіи за единицу вѣса принятъ фунтъ, образецъ котораго хранится въ С. Петербургѣ на монетномъ дворѣ.

Чтобы поддержать какое нибудь тѣло отъ паденія необходимо доставить ему опору. Опытъ показываетъ, что мы можемъ предохра- Центръ тяжести.

Фиг. 20 и 21.

нить твердое тѣло отъ паденія, доставляя опору только одной его точкѣ. Такъ напр. чтобы предохранить отъ паденія тонкую несгибаемую проволоку *a b* (фиг. 20) достаточно подпереть среднюю ея точку *c*. — Очевидно, что въ этомъ случаѣ совокупное давленіе всѣхъ частицъ проволоки книзу или, говоря другими словами, вѣсъ ея мы можемъ считать сосредоточеннымъ въ точкѣ *c*.—Точка эта, въ которой сосредоточивается вѣсъ проволоки, называется ея *центромъ тяжести*. — Опытъ показываетъ, что въ каждомъ тѣлѣ находится центръ тяжести, но положеніе его бываетъ различно, судя по самому расположенію массы тѣла. Представимъ себѣ квадратную поверхность состоящую изъ плотно приложенныхъ проволокъ *a b* (фиг. 21).—Такъ какъ центръ тяжести каждой проволоки находится на ея срединѣ, то очевидно, что общій центръ тяжести будетъ въ точкѣ *m* посрединѣ линіи соединяющей центры тяжестей всѣхъ проволокъ. И въ самомъ дѣлѣ, подперевъ точку *m*, мы

Фиг. 22 и 23.

можемъ доставить опору цѣлому квадрату. Но для доставленія опоры тѣлу нѣтъ надобности подпирать самый центръ его тяжести *m*, что очевидно невозможно въ томъ случаѣ, когда центръ тяжести находится внутри тѣла какъ напр. шара, а достаточно чтобы точка эта находилась отвѣсно надъ точкою опоры, когда тѣло подперто, (фиг. 22) или подъ точкою привѣса когда тѣло виситъ (фиг. 23)

Очевидно, что въ обоихъ этихъ случаяхъ, центръ тяжести и точки опоры или привѣса будутъ совпадать съ направленіемъ тяжести.

§ 17. Мы уже знаемъ что всякое тѣло состоитъ изъ разъединенныхъ Звукъ. между собою частицъ матеріи, подчиняющихся постоянному дѣйствію двухъ противоположныхъ частичныхъ силъ — притягательной и отталкивающей. — Если подвергнуть давленію одну или нѣсколько такихъ частицъ находящихся въ связи между собою, то очевидно что давленіе это передается и окружающимъ частицамъ, которыя въ свою очередь будутъ распространять его далѣе до самыхъ наружныхъ частей тѣла.—Въ дѣйствительности подобнаго распространенія частицъ можно убѣдиться изъ слѣдующаго опыта: если водить смычкомъ по краю сосуда налитаго до половины водою, то мы увидимъ что движеніе сообщаемое частямъ сосуда распространится по всей поверхности жидкости которая, вслѣдствіе дрожанія про-

изведеннаго въ ея частицахъ, будетъ казаться покрытою волнами.— Ударяя молоткомъ по колоколу мы можемъ убѣдиться въ сотрясеніи его частицъ легкимъ прикосновеніемъ къ нему руки. Опытъ показываетъ что, при подобномъ движеніи, частицы только временно измѣняютъ свое положеніе относительно другъ друга. Это приводитъ насъ къ заключенію что къ такому движенію наиболѣе способны тѣла обладающія упругостію которая, какъ мы знаемъ (§ 13), состоитъ въ свойствѣ частицъ по измѣненіи своего состоянія принимать первоначальное положеніе—Такое движеніе частицъ на одномъ мѣстѣ называется *колебаніемъ*, если оно совершается въ твердыхъ и *волненіемъ*, если оно происходитъ въ жидкостяхъ или газахъ. — Но какъ ни одно тѣло на землѣ не находится въ пустотѣ, а всегда въ прикосновеніи съ подставами или съ частицами другихъ окружающихъ его тѣлъ, то очевидно что послѣднія должны принимать участіе въ движеніи частицъ ударяемаго тѣла. Такимъ образомъ движеніе распространяется *постепенно* до внутреннихъ частей нашего уха и, производя въ нихъ сотрясеніе, доставляетъ намъ понятіе объ этихъ движеніяхъ носящихъ общее названіе *звука*.—Самое же ощущеніе этихъ движеній въ ухѣ называется *слухомъ*.

Свѣтъ. § 18. Смотря на окружающіе насъ предметы, мы получаемъ посредствомъ глаза понятіе о фигурѣ, блескѣ, цвѣтѣ, относительномъ положеніи и разстояніи этихъ тѣлъ отъ насъ, точно также какъ посредствомъ уха ощущаемъ звукъ. Мы показали уже что причина ощущенія доставляемаго звукомъ заключается въ колебаніи матеріи; подобнаго очевиднаго объясненія мы не можемъ себѣ составить на счетъ ощущеній глаза, неизвѣстная причина которыхъ называется *свѣтомъ*. Не имѣя возможности объяснить настоящей причины этого явленія, ученые старались найти сходство его съ другими явленіями. Самое ближайшее сходство съ явленіями свѣта представляютъ явлененія звука и сходство это заключается въ томъ что тѣ и другія могутъ быть отнесены къ *движенію*.

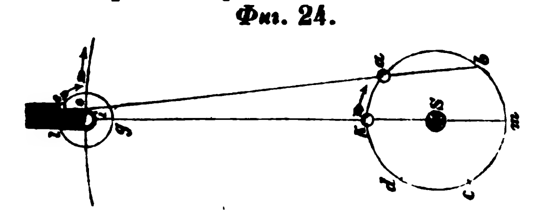
Но чтобы объяснить это свойство свѣта должно прежде показать— какія условія необходимы для того, чтобы глазъ могъ получить ощущеніе зрѣнія?—Самое простое наблюденіе показываетъ намъ, что мы не можемъ видѣть предметовъ въ *темной* комнатѣ, до тѣхъ поръ, пока въ нее не будетъ внесена зажженная свѣча или другое тѣло, издающее свѣтъ или, говоря другими словами, служащее причиною свѣта. Подобное явленіе мы ощущаемъ съ восходомъ солнца освѣщающаго всѣ предметы невидимые вовремя темной ночи.

Разсматривая тѣла природы относительно свѣта, мы можемъ легко удостовѣриться что они *вообще* могутъ быть раздѣлены на *источники свѣта* или тѣла свѣтящія, то есть такія которыя бываютъ видимы при собственномъ свѣтѣ, и на тѣла *освѣщаемыя*, которыя могутъ быть видимы нами только тогда когда на нихъ падаетъ свѣтъ отъ свѣтящихъ тѣлъ. Къ главнѣйшимъ источникамъ свѣта въ природѣ мы относимъ солнце и огонь. На счетъ же освѣщаемыхъ тѣлъ замѣтимъ только то, что они бываютъ различныхъ родовъ: такъ на-

примѣръ, одни изъ нихъ, называемыя *прозрачными*, пропускаютъ свѣтъ; между тѣмъ какъ другія, называемыя *темными*, не пропускаютъ свѣта. Въ послѣднемъ случаѣ свѣтъ частію *поглощается* ими, частію же *отражается* назадъ. Это отраженіе свѣта отъ поверхности темныхъ тѣлъ и дѣлаетъ ихъ для насъ видимыми.

Теперь представляется вопросъ — какимъ образомъ свѣтъ достигаетъ до нашего глаза отъ свѣтящихся тѣлъ, мгновенно или по истеченіи извѣстнаго времени? Всѣ явленія свѣта на землѣ говорятъ въ пользу мгновеннаго распространенія свѣта, потому что мы видимъ предметы тотчасъ при появленіи источника свѣта. Это заставило ученыхъ, для разрѣшенія вопроса, изслѣдовать явленія свѣта на отдаленіяхъ превосходящихъ наши земныя разстоянія и для того обратиться къ свѣтовымъ явленіямъ совершающимся внѣ нашей земли. Мы предполагаемъ здѣсь извѣстнымъ, что земля наша принадлежитъ къ числу небесныхъ тѣлъ обращающихся вокругъ солнца на различныхъ разстояніяхъ, простирающихся до нѣсколькихъ сотъ милліоновъ верстъ. Тѣла эти, называемыя *планетами*, не имѣютъ собственнаго свѣта, но бываютъ видимы чрезъ отраженіе падающаго на нихъ солнечнаго свѣта, что очевидно происходитъ въ томъ случаѣ, когда эти тѣла при движеніи своемъ вокругъ солнца не попадаютъ въ такое мѣсто, которое заслонено отъ солнца другою большею противу нихъ планетою. Понятно, что при постоянномъ движеніи всѣхъ небесныхъ тѣлъ это положеніе планетъ не можетъ быть постояннымъ, а прекращается тотчасъ по выходѣ планеты изъ мѣста заслоненнаго отъ солнца. Обстоятельствомъ этимъ воспользовался въ 1675 году датскій астрономъ Ремеръ для удостовѣренія—достигаетъ ли до насъ свѣтъ мгновенно чрезъ огромныя разстоянія? Мы здѣсь дадимъ понятіе какъ о способѣ употребленномъ Ремеромъ, такъ и о результатахъ имъ полученныхъ. На фиг. 24 *s* представляетъ Солнце, *kabmcd* означаетъ путь, описываемый Землею вокругъ Солнца, а *i* положеніе планеты Юпитера, удаленнаго отъ солнца около пяти разъ болѣе земли. Какъ самая планета есть тѣло непрозрачное, то позади ея, какъ и позади всякаго непрозрачнаго тѣла, образуется отсутствіе свѣта называемое *тѣнью*. Около Юпитера двигаются четыре спутника точно также какъ Луна вокругъ Земли, только въ другіе промежутки времени. Одинъ изъ этихъ спутниковъ, ближайшій къ планетѣ, обращается около нея въ 42 часа и 28 минутъ. Основываясь на извѣстныхъ движеніяхъ небесныхъ тѣлъ, астрономы опредѣлили съ точностію тѣ мгновенія въ которыя каждый изъ спутниковъ долженъ погружаться въ тѣнь планеты и выходить изъ нея. Для повѣрки этихъ законовъ на опытѣ поступаютъ слѣдующимъ образомъ: вскорѣ послѣ прохожденія Землею линіи *is*, соединяющей центры Солнца, Земли и Юпитера, когда Земля дойдетъ до точки *a*, замѣчаютъ выхожденіе

Фиг. 24.



одного изъ спутниковъ и записываютъ моментъ, въ который оно совершилось; чрезъ три мѣсяца послѣ того Земля находится въ точкѣ *b* и когда по расчету времени употребленнаго Землею на пробѣжаніе пути *ab* слѣдовало бы ожидать 50-го выхожденія того же спутника изъ-за своей планеты, находятъ, что выхожденіе это совершается нѣсколькими минутами позже надлежащаго. Но такъ какъ движеніе небесныхъ тѣлъ совершается по непреложнымъ законамъ, справедливость которыхъ подтверждается согласіемъ всѣхъ явленій обнаруживаемыхъ небесными тѣлами, то опаздываніе спутника мы должны приписать тому, что отражаемый отъ него свѣтъ употребляетъ бо̀льшее время для прохожденія отъ *e* до *b*, нежели отъ *e* до *a*; слѣдовательно, самое опаздываніе выражаетъ время употребляемое свѣтомъ для прохожденія разстоянія отъ *a* до *b*. Разстояніе же *ab* относительно извѣстнаго пути описываемаго землею есть хорда, величина которой можетъ быть опредѣлена съ величайшею точностію посредствомъ вычисленія.

Такъ какъ извѣстно, что разстояніе Земли отъ Солнца равно 24000 земнымъ радіусамъ, то легко было вычислить, что свѣтъ пробѣгаетъ въ каждую секунду до 288000 нашихъ верстъ. Замѣтимъ здѣсь, что справедливость объясненнаго нами распространенія свѣта и его быстроты подтверждается другими явленіями и опытами, которые были произведены въ позднѣйшее время и на ближайшихъ разстояніяхъ—на самой землѣ. Опыты эти, требующіе познанія нѣкоторыхъ законовъ дѣйствія свѣта, будутъ изложены впослѣдствіи.

Изъ наблюденій Рёмера найдено что свѣтъ, подобно звуку, не распространяется мгновенно, но употребляетъ извѣстное время на прохожденіе разстоянія между своимъ источникомъ и глазомъ наблюдателя.—Точно также, когда узнаемъ ближайшія свойства распространенія свѣта, то увидимъ что и относительно образа распространенія свѣтъ представляетъ сходство со звукомъ. Главнѣйшее различіе между этими явленіями заключается въ томъ, что для объясненія передачи свѣтовыхъ явленій мы не можемъ допустить колебаній между источникомъ свѣта и глазомъ въ самой матеріи, а должны предположить, что эта передача совершается посредствомъ колебаній особаго тонкаго вещества наполняющаго поры всѣхъ тѣлъ природы и называемаго *эѳиромъ*, ближайшее значеніе котораго будетъ нами объяснено въ подробной статьѣ о свѣтѣ.

Теплота. § 19. Теплота обнаруживается или непосредственнымъ дѣйствіемъ на чувство осязанія, производя въ насъ извѣстное ощущеніе называемое тепломъ или измѣненіями производимыми ею въ тѣлахъ.

Осязаніе даетъ намъ возможность судить о различной степени теплоты въ тѣлахъ, такъ напр. мы отличаемъ тѣло холодное отъ теплаго, очень холодное, очень теплое и т. п. Возможность переводить одно и тоже тѣло изъ одного состоянія теплоты въ другое показываетъ намъ что причина этихъ явленій обнаруживающихся особенными дѣйствіями на наше осязаніе отлична отъ самой матеріи въ которой происходятъ эти явленія.

Причина этихъ ощущеній извѣстныхъ каждому подъ именемъ теплоты называется въ наукѣ *теплородомъ*.

Съ усиленіемъ этой причины тѣла нагрѣваются, между тѣмъ какъ съ ослабленіемъ ея тѣла постепенно охладѣваютъ.

Различныя степени теплорода, познаваемыя нами въ тѣлахъ осязаніемъ, называются ихъ *температурою*. На этомъ основаніи мы говоримъ, что температура тѣла тѣмъ выше, чѣмъ болѣе оно нагрѣто и, на оборотъ, тѣмъ *ниже*, чѣмъ менѣе оно нагрѣто.

Къ числу же дѣйствій, обнаруживаемыхъ теплородомъ въ состояніи тѣлъ, относятся измѣненіе ихъ объема и переходъ изъ одного состоянія скопленія въ другое.

Фиг. 25.

Въ измѣненіи объема или въ *расширеніи* тѣлъ при нагрѣваніи и *въ сжиманіи* ихъ при охлажденіи мы можемъ удостовѣриться слѣдующими опытами: **Расширеніе тѣлъ.**

Сперва обратимся къ *твердымъ тѣламъ*. Металлическій шаръ *a* (фиг. 25), проходящій въ холодномъ состояніи черезъ кружокъ *b*, послѣ нагрѣванія останавливается въ немъ и принимаетъ положеніе указанное на чертежѣ точками. — Очевидно, что обстоятельство это есть прямое слѣдствіе расширенія шара отъ нагрѣванія.

Фиг. 26.

Жидкія тѣла подвержены также расширенію отъ теплорода. Наполнивъ до точки *a* бутылку подкрашеннымъ виннымъ спиртомъ (фиг. 26), мы увидимъ, что послѣдній будетъ то подниматься выше черты *a*, то опускаться ниже ея, судя потому на нагрѣтую или на холодную подставку мы будемъ ставить сосудъ. —

Газы расширяются также отъ теплорода. — И въ самомъ дѣлѣ, если мы опустимъ трубку *a* въ воду (фиг. 27) и будемъ нагрѣвать шаръ *b* свѣчей, то увидимъ, что изъ него изгонится часть воздуха, которая пройдетъ въ видѣ пузырьковъ черезъ воду.—Это показываетъ, что нагрѣтый воздухъ не довольствуется пространствомъ занимаемымъ имъ въ холодномъ состояніи. — По удаленіи свѣчи отъ шара, оставшійся въ немъ воздухъ охладится и приметъ меньшій объемъ, а на мѣсто изгнаннаго воздуха поднимется въ трубкѣ вода. —

Фиг. 27.

Изъ этихъ примѣровъ видно, что теплородъ оказываетъ вліяніе на расширеніе тѣлъ во всѣхъ трехъ состояніяхъ скопленія.

Сверхъ того опытъ показываетъ намъ, что наибольшее расширеніе оказываютъ газы, потомъ жидкости и наконецъ твердыя тѣла, и что наиболѣе расширяемое твердое тѣло не увеличивается на столько

въ своемъ объемѣ отъ одного и того же количества теплорода на сколько увеличивается наименѣе расширяемая жидкость.

Это расширеніе тѣлъ отъ теплорода очевидно происходитъ вслѣдствіе увеличенія отталкивающей силы, дѣйствующей между атомами тѣлъ, а потому и самую отталкивающую силу между атомами приписываютъ дѣйствію теплорода, постоянному вліянію котораго подвержены всѣ тѣла природы.

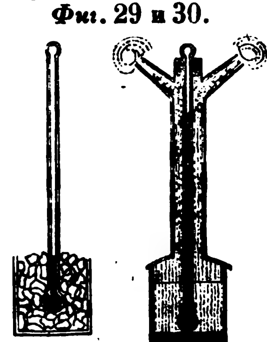
Термометръ.

На расширеніи тѣлъ отъ теплоты основано устройство инструмента, служащаго для точнѣйшаго опредѣленія степеней теплоты въ тѣлахъ. — Инструментъ этотъ, называемый *термометромъ* или тепломѣромъ, состоитъ изъ запаянной стеклянной трубки съ шарикомъ наполненнымъ ртутью. (Фиг. 28.)

Фиг 28.

При возвышеніи температуры ртуть расширяется и начинаетъ подниматься въ трубкѣ до тѣхъ поръ, пока не остановится возвышеніе температуры. Точно также, при пониженіи температуры, ртуть уменьшается въ объемѣ и опускается книзу до тѣхъ поръ, пока снова температура не сдѣлается постоянною. — Но чтобы сравнивать между собою различныя степени теплоты, необходимо выбрать условно двѣ постоянныя температуры—одну для высшихъ, а другую для нисшихъ степеней теплоты.—Этими постоянными предѣлами служатъ температуры при которыхъ происходятъ кипѣніе и замерзаніе воды: относительно двухъ этихъ температуръ сравниваютъ различныя степени теплоты.—Но какъ показанія нашихъ чувствъ не могутъ быть точны, то и прибѣгаютъ въ этомъ случаѣ къ помощи термометра, на которомъ означена величина расширенія ртути соотвѣтствующая температурѣ замерзанія и кипѣнія. Для этого опускаютъ сперва термометръ въ тающій ледъ (фиг. 29) и замѣчаютъ черточкой на поверхности трубки ту постоянную точку, которую принимаетъ оконечность ртутнаго столба во все время нахожденія термометра во льду. Чрезъ нѣсколько времени опускаютъ термометръ въ воду и нагрѣваютъ послѣднюю до кипѣнія (фиг. 30). Мы увидимъ, что ртуть начнетъ постепенно подниматься и наконецъ въ моментъ закипанія воды остановится и будетъ сохранять свое положеніе вовсе время кипѣнія. — Эту постоянную точку отмѣчаютъ также черточкой на трубкѣ. Первую изъ постоянныхъ точекъ занимаемыхъ ртутью называютъ *точкою кипѣнія*, а вторую *точкою замерзанія*. Судя по положенію принимаемому ртутію относительно точекъ замерзанія и кипѣнія, опредѣляютъ и самую степень температуры дѣйствующей на термометръ. Чтобы имѣть точное понятіе объ отношеніи опредѣляемой температуры къ точкамъ кипѣнія и замерзанія, дѣлятъ пространство между этими постоянными пунктами на извѣ-

Фиг. 29 и 30.



стное числу равныхъ частей называемыхъ градусами. При ученыхъ изслѣдованіяхъ употребляютъ термометры у которыхъ это постоянное пространство раздѣлено на 100 равныхъ частей и у точки замерзанія стоитъ 0°, а у точки кипѣнія 100°.

Самые точные опыты надъ расширеніемъ тѣлъ показали, что различныя тѣла при *одинаковой температурѣ* расширяются *различно*. Измѣненіе состояній.

Теплота измѣняетъ состояніе тѣлъ; она можетъ перевести ихъ изъ состоянія твердаго въ жидкое и даже въ воздухообразное. — Это дѣйствіе теплоты извѣстно каждому; всякій знаетъ, что съ помощію теплоты можно расплавить ледъ, воскъ, сѣру, свинецъ, бронзу, серебро, золото и что только отъ охлажденія или отъ потери извѣстной части своей теплоты тѣла эти принимаютъ твердое состояніе.

Что же касается до перехода тѣлъ изъ жидкаго состоянія въ воздухообразное, то для опредѣленія этого явленія необходимо болѣе тщательное наблюденіе.—Никто не сомнѣвается что изъ фунта растаяннаго льда получается фунтъ воды, а изъ фунта твердаго золота фунтъ того же металла въ расплавленномъ видѣ, потому что переходъ изъ одного состоянія въ другое совершается видимо передъ нашими глазами. Когда же вода, при увеличиваніи, температуры начинаетъ уменьшаться въ объемѣ, то мы не видимъ новаго тѣла образующагося изъ воды, а удостовѣряемся въ его присутствіи посредствомъ особенныхъ пріемовъ. Такъ напр., если держать надъ испаряющеюся водою какое нибудь холодное тѣло, то на немъ тотчасъ образуются капли воды. На этомъ основаніи мы заключаемъ что, вслѣдствіе дѣйствія теплоты, вода переходитъ въ газообразное, подобное воздуху прозрачное тѣло, называемое *парами*.

Здѣсь должно замѣтить, что подъ общимъ названіемъ паровъ должно разумѣть не только газообразное состояніе воды, но и прочихъ тѣлъ. Такъ напр. въ настоящемъ случаѣ должно сказать *водяные пары* точно также какъ, говоря о парахъ сѣры, слѣдуетъ сказать сѣрные пары.

Только помощію самыхъ тщательныхъ опытовъ мы можемъ убѣдиться въ томъ, что фунтъ воды даетъ дѣйствительно фунтъ пара. Это показываетъ вамъ что при образованіи пара не происходитъ разложенія воды на ея составныя части, но только преобразованіе или простое измѣненіе состоянія скопленія. Объемъ занимаемый паромъ бываетъ значительно больщій сравнительно съ объемомъ воды изъ которой онъ образовался и если бы противоставить этому пару легко подвижныя преграды, то раздвигая ихъ, онъ будетъ стремиться къ постепенному увеличенію объема. — Изъ этого слѣдуетъ что между частицами паровъ должна существовать *отталкивающая* или, какъ обыкновенно говорятъ, *упругая* сила.—Сила эта служитъ главнѣйшимъ отличательнымъ свойствомъ водяныхъ паровъ, которые называются также *упругими парами*, для отличія отъ паровъ образующихся въ видѣ густаго тумана надъ поверхностію воды; туманъ этотъ представляетъ собою ничто иное какъ сгущенные пары т. е. воду служащую оболочкою небольшимъ шарикамъ воздуха на подобіе мыльныхъ пузырей самаго незначительнаго діаметра.



Распространеніе теплоты.

Для дополненія краткаго очерка теплоты намъ остается сказать нѣсколько словъ о самомъ образѣ ея распространенія.

Нагрѣвая на свѣчкѣ одинъ конецъ серебряной ложки не трудно замѣтить что теплота будетъ постепенно распространяться отъ одной частицы до другой до тѣхъ поръ, пока не нагрѣется вся ложка. Такое распространеніе теплоты во внутренности тѣлъ называется ея *проводимостію.* Опытъ показываетъ намъ, что не всѣ тѣла проводятъ теплоту съ одинаковою скоростію. Такъ напр. раскаливши мѣдную булавку на одномъ концѣ, мы тотчасъ почувствуемъ сильное ощущеніе теплоты въ пальцѣ дотрогивающемся до другаго конца, между тѣмъ какъ деревянная спичка одной длины съ булавкой дозволяетъ въ продолженіи извѣстнаго времени держать себя безопасно за другой конецъ. Явленіе это можно объяснить тѣмъ, что теплородъ проводится мѣдью лучше чѣмъ деревомъ.

На основаніи подобныхъ опытовъ дѣлятъ тѣла на *хорошіе* и *дурные проводники теплорода.* Къ хорошимъ относятъ металлы, а къ дурнымъ мраморъ, стекло, земли, дерево, воду, воздухъ и вообще тѣла наиболѣе скважистыя, заключающія между частицами своими воздухъ.

Другой способъ распространенія теплорода совершается такъ, что источникъ теплорода хотя и не касается нагрѣваемаго тѣла, но дѣйствуетъ на него, не нагрѣвая промежуточной средины. Въ этомъ случаѣ говорятъ, что теплородъ распространятся *лучами.*

Солнце есть главнѣйшій источникъ теплорода ощущаемаго нами на землѣ. Къ источникамъ теплорода относится также *горѣніе* тѣлъ. Кромѣ того теплородъ можетъ быть развитъ взаимнымъ *треніемъ* тѣлъ, при *ударѣ* ихъ другъ объ друга и нѣкоторыми другими искуственными средствами.

Магнитизмъ.

§ 20. Магнитъ или *магнитный камень* есть желѣзная руда, обладающая свойствомъ притягивать къ себѣ желѣзо. — Причина этого явленія не заключается ни въ веществѣ магнита, ни въ веществѣ желѣза, потому что притяженіе можетъ ослабляться, усиливаться, уничтожаться и снова появляться безъ всякаго измѣненія вещества этихъ тѣлъ.—Это заставляетъ насъ принять существованіе особой силы, называемой *магнитизмомъ.*—Наибольшее дѣйствіе этой силы обнаруживается только на извѣстныхъ точкахъ магнита, называемыхъ *магнитными полюсами.*

Фиг. 31.



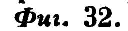
Представимъ себѣ магнитную полоску свободно обращающуюся на стативѣ (фиг. 31). Если одинъ и тотъ же полюсъ стрѣлки другаго магнита подносить сперва къ полюсу стрѣлки *N*, а потомъ къ полюсу *S*, то мы увидимъ, что одинъ полюсъ стрѣлки будетъ притягиваться, а другой отталкиваться отъ дѣйствія одного и того же полюса поднесеннаго магнита, значитъ

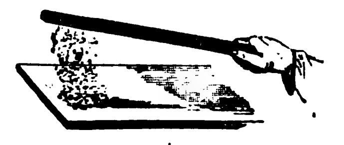
силы дѣйствующія на полюсахъ одного и того же магнита должны быть противоположны между собою.

Этимъ свойствомъ пользуются для объясненія всѣмъ извѣстнаго явленія, что приготовленная изъ магнита легко подвижная стрѣлка поворачиваетъ постоянно одинъ и тотъ же полюсъ свой по направленію къ сѣверному полюсу земли и служитъ намъ самымъ вѣрнымъ средствомъ къ указанію этой страны свѣта.

Такъ какъ это постоянное поворачиваніе однихъ и тѣхъ же полюсовъ магнитной стрѣлки къ однимъ и тѣмъ же мѣстамъ земнаго шара повторяется на всѣхъ мѣстахъ земли, и такъ какъ подобное явленіе можетъ происходить только между магнитами, то и заключаютъ, что магнитомъ дѣйствующимъ на стрѣлку долженъ быть самъ земной шаръ; полюсъ стрѣлки постоянно указывающій сѣверный полюсъ земли принято у насъ называть сѣвернымъ полюсомъ магнитной стрѣлки, а противоположный полюсъ южнымъ. — Такъ какъ вслѣдствіе сказаннаго нами выше, противоположные полюсы притягиваются другъ другомъ, то и говорятъ, что около сѣвернаго полюса земли долженъ быть южный магнитный полюсъ, а на южномъ полюсѣ сѣверный магнитный полюсъ.

§ 21. *Электричество.* Самое простѣйшее явленіе, происходящее вслѣдствіе электричества, представляетъ намъ слѣдующій примѣръ. Электричество. Если натереть шерстяной или шелковой матеріею палочку сургуча, то она будетъ притягивать къ себѣ легкія тѣла какъ напр. бумажные лоскутки, бузинные шарики, деревянные опилки и т. п. иногда даже на разстояніи болѣе дюйма (фиг. 32).


Фиг. 32.



Явленіе это замѣченное еще древними на янтарѣ и потому названное *электрическимъ* отъ греческаго слова электронъ—янтарь, сопровождается также и другими признаками — напр. развитіемъ особеннаго чесночнаго запаха, появленіемъ слабаго треска и обнаруженіемъ въ темнотѣ небольшихъ искръ между натертымъ сургучемъ и дотрогивающимся къ нему пальцемъ. — Эти едва замѣтныя искры были открыты два вѣка назадъ физикомъ Уэллемъ (Walle), который въ своемъ описаніи уподобилъ ихъ молніи, а самый шумъ сопровождающій искры — грому. Это странное сравненіе между такими повидимому различными явленіями впослѣдствіи оказалось совершенно справедливымъ или лучше сказать было первымъ толчкомъ, подвинувшимъ ученыхъ къ открытію такого тожества, потому что необходимо было употребить столѣтнія изслѣдованія для доказательства справедливости сравненія сдѣланнаго Уэллемъ. И въ самомъ дѣлѣ, только въ 1750 году удалось геніальному Франклину заставить молнію спуститься съ облаковъ по указанному ей пути на землю. — Для этой цѣли онъ сдѣлалъ змѣя изъ шолковаго платка съ

металлическимъ остріемъ на верху. Змѣй былъ пущенъ на пеньковой бичевкѣ. Когда бичевка намокла, послышался нѣкоторый шумъ, обыкновенно сопровождающій явленіе электричества. Франклинъ дотронулся до бичевки и получилъ искру. Дальнѣйшія изысканія надъ бичевкой положительно убѣдили его, что молнія дѣйствительно принадлежитъ къ электрическимъ явленіямъ.

При описаніи опыта Франклина мы имѣли случай замѣтить, что бичевка обнаруживаетъ слѣды перешедшаго къ ней электричества только въ *намоченномъ состояніи*. Это показываетъ намъ, что не всѣ тѣла одинаково способны къ распространенію электричества. Ближайшее изслѣдованіе этого предмета показываетъ, что одни тѣла какъ напр. стекло, смола и шелкъ принадлежатъ къ *дурнымъ*, а другія, какъ напр. вода и металлы къ *хорошимъ проводникамъ* электричества.

Но, кромѣ показанныхъ нами, есть другіе источники электричества, описаніе которыхъ будетъ сдѣлано въ подробной статьѣ объ электричествѣ. Мы скажемъ здѣсь только, что между электричествомъ и магнитизмомъ существуетъ извѣстное отношеніе, сближающее эти явленія. Подтвержденіемъ этого служитъ вліяніе оказываемое молніею на магнитную стрѣлку, которая во время грозы измѣняетъ свои существенныя свойства, показывая на западъ и востокъ вмѣсто сѣвера и юга. Точно также замѣчено было, что куски желѣза отъ дѣйствія на нихъ грозы принимали магнитныя свойства. Но ближайшее отношеніе между явленіями электричества и магнитизма можетъ быть объяснено только при болѣе подробномъ развитіи этихъ явленій и мы указываемъ здѣсь на сближеніе ихъ единственно потому, чтобы объяснить причину отнесенія обоихъ явленій къ одной группѣ.

Раздѣленіе явленій. § 22. Въ этомъ краткомъ очеркѣ явленій, изслѣдованіе которыхъ составляетъ предметъ физики, мы старались дать только понятіе о самомъ образѣ дѣйствія силъ обнаруживающихся этими явленіями. Изъ многочисленныхъ явленій мы обратили вниманіе преимущественно на тѣ, которыя указываютъ ближайшее соотношеніе между различными явленіями и позволяютъ раздѣлить их на сходныя группы.

Въ это обозрѣніе вошли также и тѣ явленія, которыя наиболѣе необходимы для доставленія лучшей послѣдовательности подробному изложенію физики.

Основываясь на отличительныхъ сходствахъ физическихъ явленій, мы будемъ разсматривать ихъ въ трехъ отдѣльныхъ группахъ.

Къ первой группѣ отнесены нами всѣ явленія начальною причиною которыхъ принимается *притяженіе*. Здѣсь разсматриваютъ *притяженіе на разстояніи* и *различные виды частичнаго притяженія* (тяжесть, сцѣпленіе, прилипаніе и сродство).

Ко второй группѣ относятъ явленія, обнаруживающіяся извѣстнаго рода движеніемъ, называемымъ *колебаніемъ*. Сюда причисляютъ звукъ, свѣтъ и теплоту. Теплоту разсматриваютъ въ этой группѣ на томъ

основаніи что, она въ иныхъ отношеніяхъ, какъ напр. при распространеніи своемъ лучами, представляетъ сходство со свѣтомъ.

Наконецъ, въ третьей группѣ заключаются явленія магнитизма и электричества. Такъ какъ оба эти явленія обнаруживаются извѣстнаго рода теченіемъ, то мы будемъ называть ихъ явленіями *теченія.*

Это групированіе явленій, для болѣе удобнаго обозрѣнія, представлено въ слѣдующей таблицѣ.

1-я группа.	2-я группа.	3-я группа.
Явленія притяженія.	Явленія колебанія:	Явленія теченія.
1) Притяженіе на разстояніи (тяжесть) 2) Частичное притяженіе a) Сцѣпленіе. b) Прилипаніе. c) Сродство.	1) Звукъ. 2) Свѣтъ. 3) Теплота.	1) Магнитизмъ. 2) Электричество.

§ 23. При изслѣдованіи взаимнаго дѣйствія тѣлъ другъ на друга мы приходимъ къ слѣдующимъ общимъ заключеніямъ: Общіе законы дѣйствія силъ.

1) Всякое явленіе происходитъ вслѣдствіе взаимнаго дѣйствія тѣлъ, скрытую причину котораго мы назвали силой. Но при этомъ раждается вопросъ, остается ли неизмѣннымъ это *дѣйствіе* и въ томъ случаѣ, когда измѣняется разстояніе между тѣлами обнаруживающими извѣстное явленіе? Какъ опытъ такъ и простое разсужденіе убѣждаютъ насъ, что всякое обнаруживаніе явленія должно быть въ зависимости отъ разстоянія.

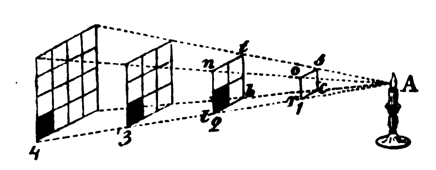
Въ этомъ отношеніи, различныя явленія, а слѣдовательно и причины ихъ или силы отличаются другъ отъ друга только *законами* по которымъ совершаются измѣненія дѣйствій ихъ относительно разстояній.

Нѣкоторыя силы природы при увеличеніи разстоянія между частицами матеріи ихъ обнаруживающими, проявляются въ такой незначительной степени, что даже при самомъ ничтожномъ или совершенно нечувствительномъ разстояніи становится вовсе незамѣтными. Свойствомъ этимъ обладаютъ виды частичнаго притяженія.

Другія силы природы какъ напр. тяжесть, свѣтъ, обнаруживаютъ значительное дѣйствіе даже на большихъ разстояніяхъ. Всѣ извѣстныя силы этого рода слѣдуютъ такъ называемому *закону квадратовъ разстояній*, который заключается въ томъ, что дѣйствіе *силы уменьшается согласно увеличенію квадрата разстоянія тѣла отъ источника силы.* Чтобы сдѣлать этотъ законъ болѣе очевиднымъ мы пояснимъ его примѣромъ, и для того разсмотримъ дѣйствіе свѣта.

Всякій источникъ свѣта мы можемъ представить себѣ какъ силу дѣйствующую изъ опредѣленной точки по всѣмъ направленіямъ, въ видѣ безчисленнаго множества прямыхъ линій.

Фиг. 33.



Представимъ себѣ (фиг. 33), что противъ свѣчи *A* въ разстояніи одного аршина находится четвероугольная дощечка *sorc*, на которую падаетъ извѣстное число этихъ линій. Допустимъ, что на разстояніи двухъ аршинъ отъ свѣчи помѣщена параллельно къ первой другая дощечка *ntbi*, величина которой ограничена пересѣченіемъ плоскостей образуемыхъ продолженіемъ линій Ao, As, Ar и Ac. Такъ какъ треугольники *Aso* и *Atn* заключающіе равные углы подобны между собою и какъ, на основаніи извѣстнаго геометрическаго правила, въ подобныхъ треугольникахъ стороны пропорціональны, то линія *As* будетъ относиться къ *At* такъ какъ *sq* относится къ *tn*. Если опустить перпендикуляръ изъ точки *A* на обѣ параллельныя другъ другу дощечки, то очевидно онъ будетъ выражать разстояніе ихъ отъ точки *A*. Соединивъ средину и оконечность этого перпендикуляра пересѣкающаго вторую дощечку съ точками *s* и *t* не трудно доказать, что линія As составляетъ половину At, а слѣдовательно и линія *so* будетъ въ два раза меньше линіи *tn*. Тоже самое отношеніе мы можемъ вывести и для остальныхъ сторонъ дощечки т. е., что каждая сторона второй дощечки вдвое больше противу каждой стороны первой дощечки. При равенствѣ угловъ и пропорціональности сторонъ обѣихъ дощечекъ очевидно что, площади, образуемыя этими правильными четвероугольниками, подобны между собою. — Площади же такихъ четвероугольниковъ относятся между собою какъ квадраты сходственныхъ сторонъ. Слѣдовательно, площадь второй дощечки будетъ относиться къ первой такъ какъ 2^2: 1^2 или какъ 4 къ 1 т. е. будетъ въ *четверо* болѣе противу послѣдней.—А это показываетъ, что одинъ и тотъ же пукъ лучей на разстояніи 2 хъ аршинъ будетъ освѣщать на второй дощечкѣ въ четыре раза бо̀льшее пространство. Значитъ, каждая точка послѣдняго будетъ получать только четвертую часть прежняго освѣщенія. Девять такихъ квадратовъ, находящихся на разстояніи 3 аршинъ отъ свѣчи, получать отъ ней *девятую* часть прежняго свѣта. При 4 аршинахъ разстоянія, дощечка вмѣщающая 16 первоначальныхъ квадратовъ будетъ освѣщена въ 16 разъ слабѣе. Числа же 1, 4, 9, 16, представляющія степени освѣщенія, суть квадраты чиселъ 1, 2, 3, 4, изображающихъ разстоянія доски отъ источника свѣта. Примѣръ этотъ можно легко примѣнить и ко всякой силѣ дѣйствующей по закону квадратовъ разстояній.

При этомъ считаемъ не лишнимъ обратить вниманіе, что уменьшеніе дѣйствія силы при увеличеніи разстоянія между тѣлами происходитъ не отъ измѣненія самой величины силы но отъ увеличенія круга ея дѣйствія.

2) Изъ сдѣланнаго нами обозрѣнія явленій не трудно замѣтить что дѣйствіе всѣхъ силъ природы обнаруживается *вообще* движеніемъ. Подъ этимъ выраженіемъ обыкновенно разумѣютъ измѣненіе мѣста занимаемаго тѣломъ или частицею его относительно другихъ тѣлъ или частицъ неизмѣняющихъ своего взаимнаго положенія. Такъ какъ посредствомъ каждой физической силы можно произвести движеніе, то, разсматривая это явленіе независимо отъ природы силъ, говорятъ, что движеніе происходитъ вслѣдствіе дѣйствія силы на матерію и разумѣютъ подъ общимъ выраженіемъ *силы* всякую причину движенія. Замѣняя въ этомъ случаѣ выраженіе —*причина движенія* общимъ словомъ *сила*, мы имѣемъ въ виду отдѣлить умственно самое вещество совершающее движеніе отъ причины его производящей. Подобный взглядъ весьма важенъ въ томъ отношеніи что приводитъ насъ къ полученію общихъ законовъ для дѣйствія силъ. И въ самомъ дѣлѣ, если бы, при этомъ отвлеченномъ понятіи о силѣ, мы вывели законы движенія, то они могутъ быть отнесены ко всѣмъ родамъ силъ, потому что въ сущности все равно, двигается ли кусокъ желѣза отъ толчка руки или отъ дѣйствія на него притягательной силы магнита, если только, въ обоихъ этихъ случаяхъ, величина и направленіе двигающихъ силъ одинаковы. Подобный выводъ общихъ законовъ, составляющій собственно предметъ особой науки *механики*, доставляетъ весьма важное пособіе для физики, имѣющей цѣлію опредѣленіе законовъ по которымъ совершаются явленія, или, говоря другими словами, различныя измѣненія въ вещественномъ мірѣ отъ дѣйствія силъ природы. На этомъ основаніи, прежде изложенія физическихъ силъ мы посвятимъ особую главу для разсмотрѣнія общихъ законовъ механики.

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ ДВИЖЕНІЯ И РАВНОВѢСІЯ.

(МЕХАНИКА.)

Законы равномѣрнаго и равноускореннаго движенія.

§ 24. Одно изъ явленій наиболѣе встрѣчаемыхъ въ природѣ есть *движеніе*. Мы говоримъ что тѣло *двигается*, въ томъ случаѣ, если замѣчаемъ его постепенно въ различныхъ точкахъ пространства. Очевидно что при этомъ двигающееся тѣло измѣняетъ свое мѣсто относительно окружающихъ его предметовъ. Такъ напр. стрѣлка на циферблатѣ часовъ передвигается отъ одного дѣленія до другаго; лодка плывущая по рѣкѣ проходитъ постепенно мимо различныхъ предметовъ лежащихъ по обоимъ берегамъ рѣки; ѣдущая повозка перехо- Движеніе покой.



дитъ отъ одного мѣста до другаго: всѣ эти тѣла находятся въ движеніи потому что они, удаляясь отъ однихъ предметовъ, приближаются къ другимъ. Противоположное явленіе представляютъ намъ неподвижные предметы какъ напр. горы, дома, деревья и др. Это неизмѣнное состояніе сохраняемое тѣлами относительно окружающихъ предметовъ обыкновенно называютъ *покоемъ*.

Изъ сказаннаго нами слѣдуетъ, что для обнаруженія движенія необходимо имѣть въ виду неизмѣнное состояніе извѣстныхъ предметовъ. Еслибы всѣ тѣла двигались одновременно, то очевидно, что всѣ они казались бы намъ въ покоѣ, потому что относительное положеніе между ними будетъ оставаться въ этомъ случаѣ неизмѣннымъ. Такъ напримѣръ при взглядѣ на усѣянное звѣздами небо, на горы, лѣса и города намъ кажется что тѣла эти находятся въ покоѣ. Но болѣе точное наблюденіе показываетъ что всѣ небесныя тѣла, даже и звѣзды кажущіяся намъ по отдаленности неподвижными, находятся въ постоянномъ движеніи. Точно также доказано что и земной шаръ на которомъ стоятъ неподвижно дома, церкви и другіе предметы кажущіеся намъ въ покоѣ, самъ совершаетъ движеніе вокругъ своей оси и вокругъ солнца. Однимъ словомъ, въ цѣлой природѣ мы не можемъ найти постоянныхъ предметовъ, совершенно находящихся въ покоѣ.

Это показываетъ что наблюдаемый нами на землѣ покой не есть *истинный* или *абсолютный*, а только *кажущійся* или *относительный*. Чтобы яснѣе понять различіе между истиннымъ и относительнымъ покоемъ, представимъ себѣ человѣка плывущаго въ лодкѣ; хотя тѣло его и находится въ покоѣ относительно окружающихъ предметовъ въ самой лодкѣ, какъ напр. мачты, стола, скамьи, но при взглядѣ на постепенное исчезаніе изъ вида предметовъ лежащихъ на берегу, тотъ же самый человѣкъ можетъ убѣдиться что лодка съ находящимися на ней предметами сама совершаетъ движеніе. Тоже самое представляетъ намъ простое передвиженіе въ комнатѣ стола на которомъ находятся различныя вещи; хотя послѣднія и сохраняютъ постоянныя мѣста относительно стола, но онѣ измѣняютъ свое положеніе относительно стѣнъ комнаты.

Слѣдовательно, если съ перваго взгляда кажется страннымъ— какимъ родомъ движется домъ, гора и цѣлый городъ, то не должно упускать изъ виду, что тѣла эти движутся вмѣстѣ съ землею на которой они утверждены.

Сила (причина движенія).

§ 25. Чтоже касается до причинъ движенія или силъ, то онѣ могутъ быть различны. Въ большей части движеній принимаетъ участіе сила тяжести, которая если и не бываетъ непосредственной причиной движенія, то тѣмъ не менѣе оказываетъ на него вліяніе. Къ другимъ причинамъ движенія обыкновенно относятъ электрическое и магнитное притяженіе, упругость, ударъ текущей воды и вѣтра и наконецъ ту силу, посредствомъ которой люди и животныя приводятъ въ движеніе не только собственныя свои тѣла, но и посторонніе предметы.

Для общаго разсмотрѣнія законовъ движенія рѣшительно все равно отъ какой изъ этихъ причинъ происходитъ движеніе. На этомъ основаніи, какъ мы уже говорили, всякую причину движенія называютъ просто *силой*.

Хотя мы и не можемъ объяснить себѣ въ чемъ именно заключается дѣйствіе силъ, но убѣждаемся въ существованіи ихъ по явленіямъ ими производимымъ и преимущественно вслѣдствіе сознанія нашей собственной физической силы.—Въ этомъ сознаніи убѣждаемся мы посредствомъ чувства осязанія, которое удостовѣряетъ насъ какъ въ обнаруженіи собственныхъ силъ, такъ въ дѣйствіи внѣшнихъ силъ на наше тѣло. Мы сознаемъ существованіе нашей собственной силы въ томъ случаѣ, когда ощущаемъ извѣстнаго рода давленіе; мы знаемъ изъ опыта, что отъ непрерывнаго дѣйствія подобнаго давленія могутъ происходить движенія и всѣ измѣненія въ движущихся тѣлахъ и по этому заключаемъ, что непосредственное обнаруженіе каждой силы должно заключаться въ давленіи и что каждое движеніе можетъ произойти только вслѣдствіе давленія обнаруженнаго какой либо силой.

Противу правильности выведеннаго нами заключенія о дѣйствіи силъ, по видимому, говоритъ то обстоятельство, что часто одни тѣла заставляютъ другія производить движенія, не взирая на то что не бываетъ непосредственнаго прикосновенія между ними. Такъ напр. камень падаетъ къ землѣ, кусокъ желѣза приближается къ магниту и т. п. Должно ли въ этомъ случаѣ непосредственное обнаруженіе силы приписать также давленію и можно ли сравнивать этотъ образъ проявленія силъ съ давленіемъ производимымъ рукою? И здѣсь чувство осязанія можетъ разрѣшить наше сомнѣніе. Если мы попробуемъ воспрепятствовать паденію камня къ землѣ или движенію желѣза къ магниту, то ясно увидимъ что при этомъ рука почувствуетъ извѣстное давленіе. Слѣдовательно, всякое непосредственное обнаруженіе силы заключается въ давленіи.

Не входя въ ближайшія причины движенія и принимая каждое движеніе за слѣдствіе извѣстнаго давленія на тѣла, *механика* показываетъ только—*какимъ образомъ* происходитъ самое движеніе т. е. опредѣляетъ намъ законы, по которымъ совершается движеніе при различныхъ внѣшнихъ условіяхъ.

§ 26. При дѣйствіи каждый силы на тѣло должно обращать вниманіе на *точку приложенія* т. е. на точку тѣла подверженную непосредственному дѣйствію силы, на *направленіе* дѣйствія обозначаемое прямою линіею по которой сила стремится привести въ движеніе точку приложенія и наконецъ на *величину* или, какъ весьма часто говорятъ, на *напряженіе* дѣйствующей силы. Элементы силы.

Эти три элемента (точка приложенія, направленіе и величина) доставляютъ намъ полное опредѣленіе силы.

§ 27. Такъ какъ подъ словомъ сила мы разумѣемъ неизвѣстную причину движенія, то напряженіе или величина силы можетъ быть обозначена величиною произведеннаго ею дѣйствія. При сравненіи дѣй- Опредѣленіе величины силъ.

ствія одной силы съ дѣйствіемъ другой мы должны принять какую нибудь условную единицу, которая и дастъ намъ возможность судить о величинѣ дѣйствующихъ силъ. Очевидно, что двѣ силы будутъ *равны между собою*, если при дѣйствіи на одну и туже матеріальную точку, съ двухъ противоположныхъ сторонъ, взаимно уничтожаютъ другъ друга или, какъ обыкновенно говорятъ, удерживаютъ другъ друга *въ равновѣсіи*. Но если эти же самыя равныя силы дѣйствуютъ по одному направленію, то очевидно что онѣ даютъ въ совокупности удвоенную силу т. е. силу $= 2$; три такія силы даютъ тройную силу и т. д. Если говорятъ что двѣ силы относятся между собою какъ 3 къ 5, то это значитъ что одна изъ нихъ равна суммѣ трехъ равныхъ силъ, изъ которыхъ каждая $= 1$, между тѣмъ какъ другая равна суммѣ 5 такихъ силъ.

На этомъ основаніи, двѣ прямыя линіи, изъ которыхъ одна заключаетъ 3, а другая 5 однѣхъ и тѣхъ же линейныхъ мѣръ, могутъ служить нагляднымъ выраженіемъ величины двухъ силъ относящихся между собою какъ 3 къ 5. Представленія силъ прямыми линіями имѣетъ ту выгоду, что послѣднія могутъ выражать намъ одновременно величину, направленіе и точку приложенія силъ.

Подобнымъ обозначеніемъ величины силъ мы еще не опредѣлили самую единицу силы, а показали что отношеніе между двумя какими нибудь силами можетъ быть выражено общей мѣрой и что численное выраженіе силы зависитъ отъ выбора единицы. Для чисто умозрительныхъ изслѣдованій нѣтъ никакой надобности въ выборѣ опредѣленной единицы силъ, но какъ при разсмотрѣніи силъ мы имѣемъ въ виду также и практическое примѣненіе ихъ, то весьма полезно, хотя и не необходимо, показать въ самомъ началѣ условно выбранную единицу силъ.

Для сравненія напряженія различныхъ силъ обыкновенно принимаютъ за единицу *условное* дѣйствіе тяжести, какъ дѣйствіе неизмѣнной силы представляющейся человѣку на каждомъ мѣстѣ земнаго шара.

Сила эта, какъ мы уже знаемъ, заставляетъ каждое тѣло оказыватъ давленіе на тѣ препятствія которыя мѣшаютъ ему приближаться къ землѣ. Въ ученомъ отношеніи принято считать за единицу давленіе, оказываемое на препятствіе однимъ кубическимъ дециметромъ воды, при температурѣ 4^0, 1 стоградуснаго термометра и при географической широтѣ Парижа. Это давленіе называется килограммомъ.

Какимъ же образомъ сравнивать съ этимъ единичнымъ давленіемъ давленіе обнаруживаемое всякою другою силою?

Если бы мы взяли такое *сопротивленіе* которое позволяло бы выражать наглядно величину единичнаго давленія, то сравнивая съ этою наглядною величиною всякое другое давленіе, мы получили бы въ той же величинѣ напряженіе измѣряемаго давленія.

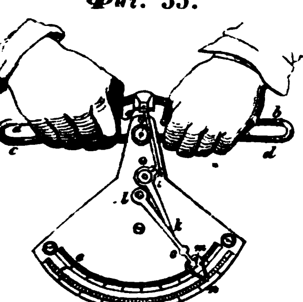
Динамометръ. Для такого сопротивленія, по предложенію Бюфона, принято употреблять *упругость* пружинъ. —На этихъ началахъ основано устрой-

ство простаго прибора служащаго на практикѣ для измѣренія величины давленія силъ и называемаго *динамометромъ* или *силомѣромъ* (фиг. 34). — Онъ состоитъ изъ загнутой по срединѣ упругой пружины, къ нижней части которой придѣлана на глухо металлическая дуга *cd* съ дѣленіями. — Дуга эта проходитъ сквозь прорѣзъ въ верхней части пружины и оканчивается снаружи кольцомъ. Точно такая же дуга *ba*, прикрѣпленная къ верхней части пружины, проходитъ свободно сквозь нижній прорѣзъ.—Если привѣшивать къ послѣдней дугѣ гири различнаго вѣса, то чѣмъ тяжелѣе гири и, слѣдовательно, чѣмъ значительнѣе притяженіе ихъ къ землѣ, тѣмъ большее давленіе онѣ будутъ производить на пружину и тѣмъ сильнѣе будутъ сжимать ее. Значитъ, по мѣрѣ сжатія пружины мы можемъ судить о величинѣ произведеннаго на нее давленія. Величину этого сжиманія для каждой гири замѣчаютъ на дѣленіяхъ верхней дуги и такимъ образомъ получаютъ *скалу*, которая служитъ для обнаруженія величины давленія всякой силы сжимающей пружину. Положимъ, что средина дѣленій соотвѣтствуетъ гири въ 4 пуда вѣсу. Если, мы можемъ подвести рукою верхнюю часть пружины только до этой точки дѣленія, то это значитъ что рука въ состояніи произвести давленіе равное давленію 4 пудовъ.

Фиг. 34.

На тѣхъ же началахъ основано устройство и динамометра представленнаго на фиг. 35.—При сжатіи пружины *a b c d* посредствомъ полоски *gh*, сообщается толчекъ указателю *ik* движущемуся на оси по поверхности небольшой металлической доски. Указатель *ik* передаетъ свой толчекъ другому указателю *ln*, внѣшній конецъ котораго показываетъ на дугѣ металлической доски величину сжатія пружины. Понятно, что и въ этомъ случаѣ дѣленія дуги означаются согласно вѣсу гирь привѣшенныхъ къ пружинѣ *g*.

Фиг. 35.



§ 28. Мы приступимъ теперь къ изложенію главнѣйшихъ законовъ движенія и равновѣсія силъ. Подробное изслѣдованіе этихъ законовъ составляетъ, какъ мы уже говорили, предметъ особой науки *механики*, которая раздѣляется на *статику*, занимающуюся равновѣсіемъ силъ, и *динамику*, разсматривающую различныя условія движенія тѣлъ. Раздѣленіе механики.

§ 29. Всякое движеніе, какъ мы уже сказали, происходитъ вслѣдствіе дѣйствія силъ. Элементы движенія.

Разсматривая движеніе тѣлъ независимо отъ силъ, мы получаемъ понятіе о слѣдующихъ элементахъ движенія.

1) Каждое тѣло, двигаясь отъ одного мѣста до другаго, проходитъ извѣстное *разстояніе* или *путь*. Если мы вмѣсто двигающагося тѣла

представимъ себѣ только точку, то она опишетъ на пути своемъ слѣдъ называемый *линіею*. Линію эту можно измѣрять произвольной линейной мѣрой.

2) Невозможно представить себѣ что бы тѣло въ одно и тоже мгновеніе могло находиться на двухъ или нѣсколькихъ точкахъ описываемаго имъ пути. Это показываетъ намъ, что всякое движеніе требуетъ извѣстной продолжительности или *времени*, которое измѣряется годами, мѣсяцами, днями, часами, минутами, секундами и десятичными долями секунды.

3) Сравнивая путь проходимый движущимся тѣломъ и время употребляемое имъ на прохожденіе этого пути, мы можемъ получить понятіе о самой быстротѣ движенія производимаго тѣломъ, или о его *скорости*. Хотя мы и не можемъ опредѣлить, въ чемъ именно заключается это понятіе, составляющее одно изъ существенныхъ свойствъ всякаго движенія, но тѣмъ не менѣе убѣждаемся въ его существованіи при внимательномъ наблюденіи движеній.

Такъ напр. при различныхъ движеніяхъ мы видимъ что одинъ и тотъ же путь можетъ быть проходимъ тѣлами въ различныя времена; если въ одномъ случаѣ было употреблено большее время противу другаго, то мы говоримъ что, въ послѣднемъ случаѣ, скорость движенія значительнѣе нежели въ первомъ.

Хотя подобное сравненіе пути движенія со временемъ употребленнымъ на совершеніе движенія, и не даетъ точнаго опредѣленія скорости, но оно позволяетъ намъ измѣрять ее.

И въ самомъ дѣлѣ, мы привыкли *измѣрять* скорости временами, употребленными на прохожденіе равныхъ путей. Въ два или въ три раза меньшее время соотвѣтствуетъ въ два или въ три раза большей скорости и вообще скорости обратно пропорціональны временамъ употребленнымъ на прохожденіе равныхъ путей. Если лодка употребляетъ два часа на прохожденіе 7 верстъ разстоянія, между тѣмъ какъ поѣздъ на желѣзныхъ дорогахъ совершаетъ тотъ же путь въ четверть часа, то очевидно, что скорости обоихъ движеній относятся между собою какъ $\frac{1}{4}$ къ 2 или какъ 1 къ 8.—Въ этой обратности отношеній временъ заключается главнѣйшее неудобство употребленія ихъ для опредѣленія отношенія скоростей.

Понятно, что мы можемъ оцѣнивать скорости по величинѣ путей проходимыхъ въ какую нибудь опредѣленную единицу времени. За такую единицу обыкновенно принимаютъ секунду, продолжительность которой у всѣхъ образованныхъ народовъ одинакова и какъ извѣстно составляетъ $\frac{1}{86400}$ часть астрономическихъ сутокъ или времени обращенія земли на своей оси.—За единицу же или за мѣру самой скорости обыкновенно принимаютъ движеніе тѣла проходящаго 1 футъ въ секунду. Отсюда слѣдуетъ, что скорость движенія всякаго тѣла означается количествомъ футовъ проходимыхъ имъ въ секунду. Поэтому, если говорятъ что скорость какого либо тѣла есть 8, или 20, или 50 фу-

товъ, то это значитъ, что тѣло проходитъ въ секунду или 8 или 20 или 50 футовъ.

§ 30. Разсмотримъ теперь движеніе въ зависимости отъ силъ. Если сообщить малѣйшій толчокъ шару, лежащему на гладкой горизонтальной плоскости, то намъ будетъ казаться, что шаръ принимаетъ *мгновенно* всю скорость, сообщенную ему толчкомъ. Обстоятельство это съ перваго взгляда можетъ служить поводомъ къ допущенію возможности мгновеннаго дѣйствія силы на тѣло. Но по внимательномъ разсужденіи не трудно убѣдиться, что какъ ни было кратковременно дѣйствіе толчка, все таки оно должно имѣть извѣстную продолжительность.—И въ самомъ дѣлѣ, если бы допустили, что время дѣйствія толчка на шаръ равно нулю, то очевидно, что и самое дѣйствіе, произведенное имъ должно быть также равно нулю. Чтобы еще болѣе убѣдиться въ невозможности существованія, такъ называемыхъ, мгновенныхъ силъ разсмотримъ ближе, какимъ образомъ всякая сила можетъ дѣйствовать на тѣло. Непрерывное дѣйствіе силъ

Если какая либо сила дѣйствуетъ на тѣло, то она прежде всего сообщаетъ движеніе тѣмъ частицамъ его, которыя непосредственно подлежатъ ея дѣйствію. Такъ напр. чтобы привести въ движеніе билліардный шаръ, мы прикасаемся только къ нѣсколькимъ точкамъ его поверхности; вѣтеръ, приводящій въ движеніе судно, дѣйствуетъ непосредственно на одни паруса, которые передаютъ сообщаемое имъ движеніе сосѣднимъ частямъ, распространяющимъ его далѣе до тѣхъ поръ, пока вся масса судна не будетъ имѣть одного общаго движенія. Изъ этого слѣдуетъ, что для передачи движенія всей массѣ тѣла, необходимо извѣстное *продолженіе времени*. Если сила дѣйствуетъ на тѣло такое *незначительное время*, что частицы, непосредственно подлежащія ея движенію, не успѣваютъ передать сообщеннаго имъ движенія всей остальной массѣ, то очевидно, что частицы эти должны однѣ выдержать дѣйствіе силы. Если связь этихъ частицъ съ прочею массою тѣла не будетъ достаточна сильна для противодѣйствія силѣ, то понятно, что частицы эти *отдѣлятся* отъ остальной массы, непередавши ей сообщеннаго имъ движенія. На этомъ основаніи мы можемъ объяснить себѣ, почему пущенная изъ ружья пуля дѣлаетъ круглое отверстіе въ оконномъ стеклѣ, нисколько не раздробивши остальной массы стекла, если только послѣднее находится вблизи отъ мѣста выстрѣла.

Изъ приведенныхъ нами разсужденій и опытовъ не трудно убѣдиться въ томъ, что на самомъ дѣлѣ силы могутъ производить только непрерывное дѣйствіе и что всё различіе между силами заключается въ различной продолжительности ихъ дѣйствія и въ различіи самой величины давленія оказываемаго ими въ теченіи этого времени.

§ 31. Такъ какъ всякое тѣло можетъ быть разсматриваемо за совокупность соединенныхъ между собою матеріяльныхъ точекъ, то поэтому при изслѣдованіи законовъ дѣйствія силъ гораздо проще и естественнѣе разсмотрѣть предварительно дѣйствіе силы на одну *матеріяльную точку* и потомъ уже перейти къ разсмотрѣнію тѣхъ случаевъ, когда Различіе движеній въ зависимости отъ дѣйствія силъ

дѣйствію силы подвержены нѣсколько матеріяльныхъ точекъ, соединенныхъ между собою. Поэтому, если мы и будемъ при послѣдующемъ изложеніи говорить, что сила дѣйствуетъ на тѣло, то не должно упускать изъ виду, что сила дѣйствуетъ въ этомъ случаѣ точно такъ какъ бы она дѣйствовала на матеріяльную точку.

Положимъ что сила, дѣйствующая на тѣло, въ первую секунду своего дѣйствія, сообщила ему извѣстную скорость.—Очевидно, что на основаніи свойства инерціи (§ 6), тѣло будетъ стремиться сохранить эту скорость и во всѣ слѣдующія секунды движенія. Если сила и во второй моментъ не прекращаетъ своего дѣйствія, то къ прежней скорости тѣла прибавится новая и во вторую секунду оно будетъ двигаться скорѣе нежели въ первую. Понятно, что при болѣе продолжительномъ дѣйствіи силы скорость тѣла будетъ постепенно увеличиваться т. е. въ равныя частицы времени оно будетъ проходить постепенно увеличивающіяся пространства.—Это движеніе, при которомъ происходитъ измѣненіе скоростей, называется вообще *перемѣннымъ*.

Если послѣ нѣсколькихъ моментовъ такого движенія прекращается дальнѣйшее дѣйствіе силы на тѣло, то очевидно, что на основаніи свойства инерціи оно должно будетъ двигаться по тому направленію и съ тою скоростію, которыя были ему сообщены въ моментъ прекращенія дѣйствія силы, т. е. въ равныя и слѣдующія другъ за другомъ частички времени будетъ проходить равныя разстоянія *mn*, *no*, *ok*, *kl* и т. д. (фиг. 36) по направленію прямой линіи т. е. означающей направленія движенія въ моментъ прекращенія дѣйствія силы.

Фиг. 36.

m *n* *o* *k* *l*

Такое движеніе тѣла по прекращеніи дѣйствія силы называется *равномѣрнымъ*.

Поэтому на всякое равномѣрное движеніе мы должны смотрѣть собственно какъ на движеніе по одной инерціи, вслѣдствіе прошедшаго дѣйствія силы на тѣло и можемъ разсматривать это движеніе совершенно независимо отъ силы его произведшей.

Чтобы убѣдиться въ справедливости этого вывода, возмемъ напримѣръ движеніе пули, пущенной изъ ружья.—Пуля, какъ извѣстно, движется во время нахожденія своего въ дулѣ ружья вслѣдствіе давленія газовъ образующихся отъ воспламененія пороха. Подверженная непрерывному дѣйствію газовъ во все время нахожденія своего въ дулѣ ружья пуля очевидно должна двигаться съ измѣняющеюся скоростію. Но въ то мгновеніе, когда пуля оставляетъ дуло ружья и слѣдовательно когда прекращается на нее давленіе газовъ она сохраняетъ окончательно пріобрѣтенную скорость и двигалась бы съ этою скоростію по направленію сообщенному ей дѣйствіемъ силы, когда бы на пути не встрѣчала различныхъ сопротивленій постоянно измѣняющихъ это давленіе. Если бы требовалось опредѣлить какой величины была сила, сообщившая пулѣ скорость внѣ ружья, то вопросъ

будетъ оставаться до тѣхъ поръ неопредѣленнымъ пока къ условіямъ его не прибавится самая *продолжительность* дѣйствія силы на пулю.—Одна и таже скорость можетъ быть доставлена пулѣ весьма малою силою т. е. весьма малымъ давленіемъ, дѣйствовавшимъ весьма долгое время непрерывно по одному направленію на пулю и очень значительною силою, дѣйствовавшею въ теченіи весьма краткаго промежутка времени. Такъ напр. пуля, пущенная изъ нарѣзаннаго дула винтовки, будетъ имѣть бо̀льшую скорость противу пули, пущенной отъ одного и того же заряда изъ гладкаго ствола одинаковой длины съ винтовкою, обыкновеннаго ружья, въ которомъ пуля находилась подъ менѣе продолжительнымъ давленіемъ газовъ.

Изъ сдѣланнаго нами разсмотрѣнія дѣйствія силъ слѣдуетъ, что всякое движеніе можетъ происходить только или *при непрерывномъ дѣйствіи силы* или *по прекращенію дѣйствія ея, по одной инерціи*.— Разсматривая оба эти движенія относительно скоростей, не трудно убѣдиться, что движеніе во время дѣйствія силы, при которомъ происходитъ измѣненіе скоростей, гораздо сложнѣе равномѣрнаго движенія, при которомъ скорости остаются постоянными. — Поэтому мы займемся прежде разсмотрѣніемъ равномѣрнаго движенія.

§ 32. Изъ самаго опредѣленія равномѣрнаго движенія слѣдуетъ, что всякое тѣло, двигающееся равномѣрно, должно проходить въ равныя времена равные пути. Зная скорость тѣла, двигающагося равномѣрно т. е. число футовъ проходимыхъ имъ въ секунду и время движенія, мы можемъ опредѣлить путь совершаемый имъ —Если скорость движенія его равна 5 футамъ въ секунду, то въ двѣ секунды оно пройдетъ 2. 5, въ десять секундъ 10. 5, а въ t секундъ t. 5 футовъ. Слѣдовательно для опредѣленія пути, пройденнаго тѣломъ въ извѣстное время, должно помножить скорость на продолжительность движенія. Законы равномѣрнаго движенія.

Для знакомыхъ съ математикою показанное нами отношеніе между временемъ, путемъ и скоростію можетъ выражено самымъ простымъ уравненіемъ $s=ct$, въ которомъ s означаетъ путь, t — время, а c — скорость. Изъ этой формулы слѣдуетъ, что $c=\frac{s}{t}$, а $t=\frac{s}{c}$. Когда двѣ изъ этихъ величинъ s, t и c даны, то изъ уравненія легко опредѣлить третью.

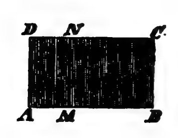
Если тоже самое тѣло отъ дѣйствія другой силы, сообщающей ему скорость C, проходитъ въ тоже самое время t путь S, то $S=Ct$.—Сравнивъ это уравненіе съ предъидущимъ $s=ct$, получимъ $S: s = C: c$, т. е. сообщенныя тѣлу скорости относятся между собою какъ пути проходимые тѣломъ въ равныя времена.

Выведенный нами законъ равномѣрнаго движенія можно выразить геометрической фигурой или, какъ обыкновенно говорятъ, представить *графически*.

При равномѣрномъ движеніи, какъ мы уже сказали, путь (s) выражается произведеніемъ изъ скорости помноженной на время ($c.t$); площадь же прямоугольника, какъ показываетъ геометрія, есть про-

изведеніе изъ высоты помноженной на основаніе. Поэтому путь *s* пройденный равномѣрнымъ движеніемъ можетъ быть представленъ прямоугольникомъ A B C D (фиг. 37.), у котораго основаніе AB соотвѣтствуетъ времени (*t*), а высота AD=BC скорости (*c*); при этомъ какъ время такъ и скорость B мы выражаемъ однѣми единицами длины.

Фиг. 37.



Весьма затруднительно и даже невозможно представить примѣръ прямолинейнаго движенія съ совершенно равномѣрною скоростію, потому что мы не можемъ никогда изолировать это движеніе или, говоря другими словами, устранить отъ него вліяніе постороннихъ силъ. Хотя подобное движеніе и не можетъ нигдѣ происходить въ природѣ и хотя на поверхности земли не возможно устранить тѣло отъ вліянія всѣхъ постороннихъ силъ, нарушающихъ однажды принятое прямолинейное и равномѣрное движеніе, но тѣмъ не менѣе выведенное нами отношеніе между путемъ *s*, временемъ *t* и скоростію *c* мы должны принять за математическую истину въ томъ случаѣ, если бы *представили* себѣ движеніе по прямой линіи съ равномѣрною скоростію. Подобное представленіе мы можемъ сравнить съ геометрическимъ изслѣдованіемъ линій, плоскостей и тѣлъ, истины котораго нисколько не страдаютъ отъ того, что въ дѣйствительности существуютъ не геометрическія, но только физическія линіи, плоскости и тѣла.

Перемѣнное движеніе. § 33. Послѣ разсмотрѣнія движенія по инерціи перейдемъ къ движенію во время дѣйствія силы.

Если сила дѣйствуетъ на тѣло непрерывно, то при этомъ, какъ мы уже говорили, должно происходить непрерывное измѣненіе скоростей движенія, т. е. что скорость въ каждую единицу времени бываетъ другая нежели въ предшествовавшую или послѣдующую единицу времени.

Чтобы облегчить себѣ представленіе непрерывнаго дѣйствія силъ, мы можемъ предположить, что время, въ продолженіи котораго совершается подобное дѣйствіе, раздѣлено на безконечное множество малыхъ, но равныхъ между собою частей, при *началѣ* которыхъ *возобновляется* дѣйствіе силы, остающееся потомъ *неизмѣннымъ въ продолженіи* каждой частицы времени. Очевидно, что подобное предположеніе тѣмъ болѣе будетъ приближаться къ истинѣ, чѣмъ меньшія частицы времени мы представимъ себѣ; такъ какъ ничто не мѣшаетъ представить въ умѣ эти частицы безконечно малыми, то понятно, что при такомъ предположеніи мы не удалимся даже отъ математической строгости, точно также какъ не удаляются отъ точности въ математикѣ при изслѣдованіи кривыхъ линій, когда принимаютъ ихъ за многоугольники, имѣющіе безконечное множество безконечно малыхъ сторонъ.

Если сила дѣйствуетъ на двигающееся тѣло во всѣ частицы времени съ равнымъ напряженіемъ т. е. съ давленіемъ одинаковой величины, то очевидно, что въ каждую частицу времени должно происходить равное увеличеніе скорости, а слѣдовательно самое движе-

віе тѣло будетъ *равноускоренное*.—Подобное движеніе мы можемъ представить себѣ въ томъ случаѣ, если бы, сообщивъ тѣлу толчокъ, постоянно возобновляли его съ одинаковымъ напряженіемъ во все продолженіе движенія. Если же дѣйствіе силы въ различныя частицы времени совершается съ различнымъ напряженіемъ, то хотя и будетъ происходить увеличеніе скорости, но это увеличеніе не будетъ уже происходить равномѣрно. Такъ напр. при движеніи тѣла толчками послѣдніе очевидно могутъ быть различнаго напряженія.

Если тѣло будетъ двигаться съ постоянно уменьшающеюся скоростію, то движеніе называется *укосненнымъ*, которое можетъ быть также *равноукосненное* и *неравноукосненное*.

§ 34. Мы разсмотримъ предварительно равноускоренное движеніе. Равноускоренное движеніе. Если сила, производящая равноускоренное движеніе, по прошествіи извѣстнаго времени, прекращаетъ свое дѣйствіе, то очевидно, что съ этого мгновенія не будетъ уже болѣе происходить измѣненія скорости и слѣдовательно двигающееся тѣло будетъ сохранять ту скорость, до которой оно достигло въ это мгновеніе.—Послѣднюю скорость и называютъ скоростію пріобрѣтенною тѣломъ. Поэтому если говорятъ про скорость тѣла, совершающаго равноускоренное движеніе, то подъ нею должно разумѣть скорость пріобрѣтенную тѣломъ по прошествіи извѣстнаго времени. — При дальнѣйшемъ продолженіи ускореннаго движенія тѣло не будетъ уже продолжать двигаться съ этою скоростію, что можетъ произойти только въ томъ случаѣ, если съ этого мгновенія прекратиться дѣйствіе ускоряющей силы. Безъ этого условія скорость тѣла въ слѣдующую частицу времени снова возростетъ на величину, соотвѣтствующую напряженію силы.

Скорость, пріобрѣтенная по *прошествіи извѣстнаго времени* тѣломъ, совершающимъ равноускоренное движеніе, называется *конечною*.

Чтобы опредѣлить эту скорость для какого нибудь времени, стоитъ только знать, сколько футовъ можетъ пройти въ секунду тѣло, двигающееся съ этою скоростію равномѣрно.

По этому для опредѣленія конечной скорости, соотвѣтствующей извѣстному моменту равноускореннаго движенія, мы должны предположить, что по достиженіи ея прекратилось дѣйствіе силы на тѣло и что послѣднее, вслѣдствіе инерціи, продолжаетъ двигаться равномѣрно со скоростію, полученною въ моментъ прекращенія дѣйствія силы. Понятно, что количество футовъ, пробѣгаемыхъ при этомъ тѣломъ въ секунду, и дастъ намъ конечную скорость, пріобрѣтенную имъ при ускоренномъ движеніи по прошествіи извѣстнаго времени. Слѣдовательно, если говорятъ, что по прошествіи четырехъ секундъ конечная скорость тѣла равна 60 фут., то это значитъ, что отъ дѣйствія ускоряющей силы тѣло пріобрѣло скорость, позволяющую ему проходить равномѣрнымъ движеніемъ 60 фут. въ секунду.

Перейдемъ теперь къ опредѣленію законовъ этого движенія.

Одни изъ этихъ законовъ имѣютъ цѣлію показать отношеніе между конечною скоростію и временемъ, въ которое она пріобрѣтена,



между тѣмъ какъ другіе опредѣляютъ величину пути, пройденнаго тѣломъ по прошествіи извѣстнаго времени.

Опредѣленіе скорости при равноускоренномъ движеніи.

§ 35. Такъ какъ подъ равноускореннымъ движеніемъ мы разумѣемъ такое движеніе, при которомъ происходитъ непрерывное и равномѣрное приростаніе скоростей, то изъ самаго этого опредѣленія слѣдуетъ, что равнымъ временамъ соотвѣтствуютъ и равной величины приростанія скоростей.—

По этому въ каждую единицу времени скорость тѣла должна увеличиваться постоянною величиною.—Такъ напр. если тѣло отъ дѣйствія непрерывной силы пріобрѣло въ секунду скорость одинъ футъ, то въ каждую слѣдующую секунду скорость, сохраняемая тѣломъ вслѣдствіе инерціи, будетъ постоянно увеличиваться однимъ футомъ.— Эта постоянная величина, означающая приростаніе скорости въ каждую единицу времени, называется *ускореніемъ*.—Зная величину ускоренія, не трудно опредѣлить скорость, пріобрѣтаемую тѣломъ по прошествіи каждой единицы времени. Если по прошествіи первой секунды тѣло, подверженное дѣйствію непрерывной силы, пріобрѣло скорость одного фута, то очевидно, что по инерціи оно должно сохранить эту скорость и въ послѣдующія секунды времени.—Но какъ во вторую секунду сила доставляетъ тѣлу снова ускореніе одного фута, то скорость всего движенія будетъ 2 фута или въ два раза больше противу величины ускоренія.—Точно также для полученія величины скорости въ 3-ю секунду должно прибавить къ 2 футамъ величину ускоренія или 1 футъ; слѣдовательно скорость будетъ равна 3 футамъ или въ три раза больше противу величины ускоренія.— Понятно, что въ t секундъ скорость будетъ въ t разъ больше противу величины ускоренія.

Однимъ словомъ, если ускореніе въ одну секунду равно g футамъ, то въ 2, 3, 4, 5, 6 и т. д. t секундъ скорость v будетъ равна $2g$, $3g$, $4g$, $5g$, $6g$,..... tg футамъ. Это показываетъ намъ, что при дѣйствіи силы на тѣло скорость, пріобрѣтаемая имъ, возростаетъ вмѣстѣ со временемъ, въ продолженіи котораго происходитъ движеніе. Выражая выведенное нами слѣдствіе математическимъ языкомъ, обыкновенно говорятъ, что *скорости пріобрѣтаемыя тѣломъ* при постоянномъ дѣйствіи силы *возрастаютъ пропорціонально временамъ, употребляемымъ на движеніе*.

Опредѣленіе пути при равноускоренномъ движеніи.

§ 36. Опредѣленіе пути, проходимаго тѣломъ въ извѣстное время при равноускоренномъ движеніи, не такъ просто, какъ опредѣленіе самой скорости, но при помощи численнаго примѣра и графическаго представленія можетъ быть легко понято при внимательномъ чтеніи.

Поэтому прежде опредѣленія пути мы покажемъ графическое представленіе равноускореннаго движенія.

При равномѣрномъ движеніи, какъ мы видѣли, (§ 32, фиг. 37.), скорость MN въ каждый моментъ движенія AM остается таже самая, какъ и при началѣ движенія. При равноускоренномъ же движеніи она возрастаетъ для каждаго мгновенія; поэтому движеніе это можетъ быть выражено толь-

Фиг. 38.

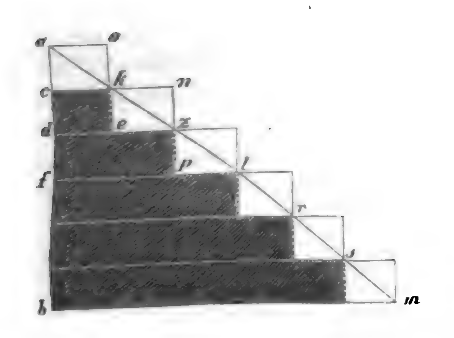


ко четвероугольникомъ $ABCD$ (фиг.38), въ которомъ время (t) представляетъ линія AB, начальную скорость—линія AD, конечную скорость—линія BC, а величина постепенно увеличивающихся промежуточныхъ скоростей (MN) опредѣляется *восходящею* линію DC. Намъ остается доказать теперь, что при равноускоренномъ движеніи линія DC должна быть *прямая*. И въ самомъ дѣлѣ, если изъ точки D провести параллельно къ AB линію DC', то послѣдняя линія отрѣжетъ отъ всѣхъ линій (MN, BC), представляющихъ скорости въ извѣстные моменты, величины соотвѣтствующія начальной скорости AD. Такъ какъ линіи CC' и NN' опредѣлятъ намъ величины приращенія скоростей для моментовъ времени DN' и DC' и такъ какъ при равноускоренномъ движеніи конечныя скорости пропорціональны временамъ, то мы получимъ отношеніе $NN' : CC' = DN' : DC'$. Отношеніе это показываетъ въ свою очередь, что треугольники DNN' и DCC' должны быть подобны между собою, а подобіе ихъ требуетъ чтобы углы NDN' и CDC' были равны, что конечно возможно только въ томъ случаѣ, когда точки D, N и C лежатъ на одной прямой линіи.

Положимъ, что какое нибудь тѣло отъ непрерывнаго дѣйствія силы пріобрѣтаетъ по прошествіи первой секунды конечную скорость 32 футовъ.—По сдѣланному нами опредѣленію конечной скорости это значитъ, что если бы на тѣло, тотчасъ по окончаніи первой секунды, прекратилось дѣйствіе силы, то оно продолжало бы двигаться равномѣрно со скоростію 32-ти футовъ въ секунду. Очевидно, что путь, пройденный тѣломъ въ первую секунду, когда дѣйствовала на него сила, будетъ менѣе 32 фут., потому что путь въ 32 фута оно могло совершить въ томъ только случаѣ, если бы во всё продолженіе секунды сохранило равномѣрную скорость 32 фут. (§ 31). Но какъ скорость тѣла возростаетъ отъ 0 до 32 фут, то ясно, что скорость его въ продолженіи секунды была постоянно менѣе 32 фут.

При такомъ постоянномъ измѣненіи скоростей нѣтъ возможности прямо найти величину пути, пройденнаго тѣломъ. Понятно, что задача была бы разрѣшена въ томъ случаѣ, если бы мы могли опредѣлить какую скорость должно имѣть тѣло, чтобы при равномѣрномъ движеніи своемъ могло пройти въ *извѣстное время тоже пространство*, какъ и при равноускоренномъ движеніи.

Фиг. 39.



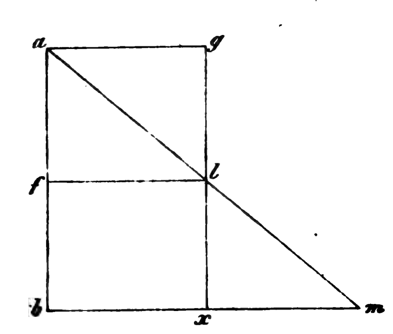
Рѣшеніе этого вопроса легко достигается при помощи графическаго представленія ускореннаго движенія (фиг. 39).

Представимъ себѣ, что линія ab изображаетъ продолженіе извѣстнаго времени, напримѣръ одну секун-

ду, и что время это раздѣлено на *чрезвычайно малые* и равные между собою моменты ac, cd, df, и т. д. Въ началѣ перваго момента очевидно сила должна сообщить тѣлу извѣстную скорость, величину которой выразимъ линіею ao перпендикулярною къ ab. Такъ какъ мы предположили моменты движенія чрезвычайно малыми, то можемъ допустить, что въ *продолженіе каждаго* момента скорость тѣла остается неизмѣнною т. е. что тѣло въ теченіи этого момента движется равномѣрно. Чтобы получить при этомъ условіи пространство, пройденное тѣломъ въ первый моментъ, должно помножить время на скорость т. е. $ac \times ao$. Полученное произведеніе, какъ извѣстно, выражаетъ площадь прямоугольника $aock$, который на этомъ основаніи можетъ представлять намъ пространство, пройденное тѣломъ въ первый моментъ. Если бы сила не дѣйствовала во второй моментъ на тѣло, то оно сохранило бы по инерціи скорость ck, равную ao, и прошло бы пространство $ckde$ равное $aock$. Но какъ сила и во второй моментъ не перестаетъ дѣйствовать на тѣло, сообщая ему скорость одинаковую какъ и въ первый моментъ, то ясно, что оно будетъ имѣть скорость вдвое большую противу первой скорости и пройдетъ пространство $cndz$.

Разсуждая такимъ образомъ, мы придемъ къ заключенію, что пространство, проходимое тѣломъ въ первую секунду, выразится суммою всѣхъ прямоугольниковъ, представленныхъ на чертежѣ. Высоты этихъ прямоугольниковъ, выражающія моменты движенія тѣла въ продолженіи секунды, по сдѣланному нами условію, должны быть чрезвычайно малы и чѣмъ меньшую мы дадимъ имъ величину, тѣмъ очевидно ломаная линія $knzlrsm$ будетъ ближе подходить къ прямой am. Еслибы мы раздѣлили ab на безконечное число частей для того, чтобы этимъ совершенно выразить дѣйствіе непрерывной силы, ни на одно мгновеніе не прекращающей своего дѣйствія на тѣло, то ломаная линія $aoknzlrsm$ совпала бы съ прямою am, и мы получили бы треугольникъ abm (фиг. 40), площадь котораго представила бы намъ пространство, пройденное тѣломъ въ первую секунду ускореннаго движенія. Если мы проведемъ отвѣсную линію fl, къ срединѣ линіи ab, то на основаніи извѣстнаго геометрическаго правила, что въ подобныхъ треугольникахъ стороны пропорціональны, не трудно доказать, что линія fl составляетъ половину отъ bm. Такъ какъ послѣдняя линія выражаетъ скорость по прошествіи секунды, то очевидно, что линія fl будетъ представлять скорость движенія въ половинѣ секунды.—Если провести чрезъ l линію параллельную къ ab, а изъ точки a возставить къ ней перпендикуляръ ag, то треугольникъ agl

Фиг. 40.



покажетъ намъ наглядно, на сколько въ первую половину секунды скорости движенія были менѣе противу средней fl, и треугольникъ lmx точно также выразитъ на сколько скорости движенія во вторую секунду превосходили среднюю скорость lf. Оба эти треугольника при равенствѣ сторонъ и угловъ, на основаніи извѣстныхъ геометрическихъ правилъ, равны между собою. Равенство этихъ треугольниковъ показываетъ намъ, что скорости въ соотвѣтственные моменты первой половины секунды должны быть на столько менѣе противу средней скорости, на сколько скорости во вторую половину секунды превосходятъ ее. Прямоугольникъ $agbx$, представляющій пространство, пройденное этою среднею скоростію при равномѣрномъ движеніи въ одну секунду, равенъ треугольнику abm, выражающему пространство пройденное ускореннымъ движеніемъ въ тоже самое время. Слѣдовательно путь, проходимый въ секунду тѣломъ при ускоренномъ движеніи, будетъ имѣть одинаковое протяженіе съ путемъ, который описываетъ въ тоже время другое тѣло при равномѣрномъ движеніи со скоростію половинною противу конечной скорости перваго тѣла.— Эта половинная скорость, какъ показываетъ фигура, находится по срединѣ между конечною bm и начальною, когда тѣло находится въ a, по этому и называютъ ее *среднею*.

Число футовъ, соотвѣтствующее этой средней скорости и выразитъ намъ путь, пройденный въ секунду тѣломъ совершающимъ равноускоренное движеніе.

Слѣдовательно, чтобы опредѣлить путь, проходимый въ секунду равноускореннымъ движеніемъ, должно найти среднюю скорость, которая получится въ томъ случаѣ, если возмемъ средину между начальною и конечною скоростями, т. е. сложимъ обѣ скорости и сумму раздѣлимъ на два.

Зная какимъ образомъ посредствомъ опредѣленія средней скорости находятъ путь, проходимый тѣломъ при ускоренномъ движеніи въ одну секунду, нетрудно получить точно также путь и для каждаго промежутка времени.

Чтобы вывести отношеніе между путями, проходимыми въ равныя и послѣдовательныя времена, возмемъ предъидущій численный примѣръ т. е. что по окончаніи одной секунды тѣло пріобрѣтаетъ скорость въ 32 фута.—Для опредѣленія средней скорости должно взять средину между начальною и конечною скоростями. Начальная скорость въ этомъ случаѣ очевидно будетъ равна нулю, потому что за начало движенія должно принять тотъ моментъ, когда тѣло изъ состоянія покоя переходитъ въ движеніе, слѣдовательно, когда оно не имѣетъ собственно никакой скорости. Значитъ средняя скорость, опредѣляющая величину самаго пространства, будетъ $\frac{0+32}{2}$ или 16 футовъ.

На основаніи закона, выведеннаго для скоростей (§ 35), мы уже знаемъ, что тѣло, пріобрѣтающее въ секунду при ускоренномъ движеніи скорость 32 фута, будетъ имѣть по окончаніи второй секунды скорость 2. 32 или 64 фута.

Если въ началѣ второй секунды скорость равнялась 32 ф. и потомъ при концѣ той же секунды возросла до 64 футовъ, то ясно, что средняя скорость въ этотъ промежутокъ времени будетъ $\frac{32+64}{2}=\frac{96}{2}$ или 48 футовъ, которые и выразятъ намъ величину пространства, пройденнаго во вторую секунду. — Точно также найдемъ, что средняя скорость или величина пространства, пройденнаго ускореннымъ движеніемъ въ третью секунду будетъ 80, для 4—112, для пятой 144 и т. д. Числа эти 16, 48, 80, 112, 144 очевидно выразятъ намъ пространства, проходимыя тѣлами при равноускоренномъ движеніи, въ отдѣльныя и слѣдующія другъ за другомъ частички времени. Такъ какъ числа эти представляютъ собою произведенія отъ умноженія первоначальной средней скорости (16) на 1, 3, 5, 7, 9 и т. д., то и выводимъ заключеніе, что *отдѣльныя пространства, проходимыя при равноускоренномъ движеніи* въ слѣдующія другъ за другомъ единицы времени, *относятся между собою какъ послѣдовательный рядъ нечетныхъ чиселъ* 1, 3, 5, 7, 9 и т. д.

Изъ закона, выведеннаго нами для пространствъ, проходимыхъ тѣлами по окончаніи каждой секунды въ *отдѣльности*, можно вывести другой законъ, посредствомъ котораго опредѣляется *разомъ все* пространство, проходимое тѣломъ по прошествіи произвольнаго числа секундъ или минутъ.

Мы знаемъ уже, что по окончаніи первой секунды тѣло проходитъ 1×16 фут., по окончаніи второй секунды оно проходитъ 3×16; слѣдовательно въ обѣ секунды вмѣстѣ оно пройдетъ 1×16 и 3×16 или $(1+3)$ 16 или 4×16. По окончаніи третьей секунды тѣло пройдетъ 5×16, слѣдовательно въ три секунды вмѣстѣ 4×16 и 5×16 или $(4+5)\ 16=9\times16$. Разсуждая такимъ образомъ, мы найдемъ, что по окончаніи четвертой секунды оно пройдетъ 16×16, по окончаніи пятой секунды — 25×16 и т. д. Такъ какъ 4 есть квадратъ 2, 9 — квадратъ 3, 16—квадратъ 4, а 25—квадратъ 5, то и заключаемъ, что *пространства, проходимыя тѣлами при равноускоренномъ движеніи* въ извѣстныя времена, *относятся между собою какъ квадраты временъ.*

На этомъ основаніи для опредѣленія пространства, проходимаго (при ускоренномъ движеніи) въ извѣстное число секундъ, стоитъ только взять послѣднее въ квадратѣ и полученное число помножить на среднюю скорость. Такъ напр. зная изъ опытовъ, что средняя скорость тѣла, падающаго отъ дѣйствія тяжести, равна 16 футамъ, мы можемъ по времени паденія камня въ колодцѣ опредѣлить глубину его. Если опущенный камень достигаетъ до воды по прошествіи 4-хъ секундъ, то это значитъ, что глубина колодца равна $4\times4\times16$ или 246 фут. Точно также, зная время, употребленное тѣломъ на про-

хожденіе извѣстнаго пути, мы можемъ опредѣлить среднюю скорость въ первую секунду равноускореннаго движенія; такъ напр., если камень, опущенный съ башни, имѣющей 246 фут. высоты, достигаетъ до земли въ 4 секунды, то для полученія пространства, пройденнаго камнемъ въ первую секунду или 16 футовъ, стоитъ только 246 раздѣлить на 4×4 $\left(\frac{246}{4.4}=16\right)$.

Для знакомыхъ съ математикою мы помѣщаемъ здѣсь болѣе строгій выводъ законовъ относительно пространствъ, проходимыхъ тѣломъ при равноускоренномъ движеніи.

Изъ § 35 мы уже знаемъ, что скорость v, пріобрѣтаемая тѣломъ при равноускоренномъ движеніи по прошествіи извѣстнаго числа секундъ t, выражается формулой $v=gt$ (1), гдѣ g означаетъ величину ускоренія въ каждую единицу времени.

Чтобы найти пространство v, проходимое при этомъ тѣломъ во время t, стоитъ только представить себѣ, что равноускоренное движеніе разложено слѣдующимъ образомъ на рядъ равномѣрныхъ движеній.

Для этого положимъ, что время t раздѣлено на опредѣленное число n равныхъ частей, изъ которыхъ каждая$=\tau$. Слѣдовательно $t=n\tau$....(2). Положимъ, что сила, двигающая тѣло, дѣйствуетъ не безпрерывно, но толчками, такъ что въ началѣ каждой частицы времени сообщаетъ тѣлу *ускореніе* p.—Такъ какъ мы назвали чрезъ v скорость, пріобрѣтаемую тѣломъ двигающимся равно ускоренно въ теченіи t времени, то очевидно, что въ настоящемъ случаѣ величина ускоренія p будетъ равна всей скорости, раздѣленной на n или на число частицъ времени, $p=\frac{v}{n}$ ..... (3).—При сдѣланномъ нами предположеніи пространства, проходимыя тѣломъ въ отдѣльныя и слѣдующія другъ за другомъ частицы времени выразятся слѣдующими величинами: $p\tau$, $2p\tau$, $3p\tau$, . . . , $np\tau$.— Сумма всѣхъ этихъ пространствъ очевидно равна цѣлому пространству s проходимому тѣломъ во время t.—По этому $s=p\tau+2p\tau+3p\tau+4p\tau+.....+np\tau$. Вынося $p\tau$ за скобку, получимъ $s=p\tau\ (1+2+3+4+....+n)$.—Но такъ какъ въ ариѳметической прогрессіи сумма членовъ ея равна произведенію изъ суммы перваго и послѣдняго членовъ, помноженной на половину числа членовъ, то въ настоящемъ случаѣ она будетъ равна $(n+1)\frac{n}{2}$; слѣдовательно $s=p\tau.(n+1)\frac{n}{2}=\frac{n^2p\tau}{2}+\frac{np\tau}{2}=\frac{np.\ n\tau}{2}+\frac{pn.\ \tau.}{2}$, Изъ уравненій $p=\frac{v}{n}$(3) и $t=n\tau$ (2) мы имѣемъ $pn=v$ и $\tau=\frac{t}{n}$; подставляя вмѣсто pn, и τ равныя имъ величины въ послѣднее уравненіе $s=\frac{np.\ n\tau}{2}+\frac{pn.\ \tau}{2}$, получимъ $s=\frac{vt}{2}+\frac{vt}{2n}$.—Вынося $\frac{vt}{2}$ за скобку, будемъ имѣть $s=\frac{vt}{2}\left(1+\frac{1}{n}\right)$.

Очевидно, что дробь $\frac{1}{n}$ будетъ тѣмъ менѣе, чѣмъ болѣе n или чѣмъ скорѣе повторяются толчки, сообщаемые тѣлу ускоренной силой; слѣдовательно чѣмъ промежутки между толчками будутъ менѣе. Если предположимъ, что принятые нами условно промежутки сдѣлаются такъ малы, что толчки, такъ сказать, сливаются другъ съ другомъ, то очевидно, что послѣдовательный рядъ равномѣрныхъ движеній превратится въ общее равноускоренное движеніе и дробь $\frac{1}{n}$ будетъ равна нулю. Поэтому s сдѣлается равнымъ $\frac{vt}{2}$.—Мы знаемъ, что $v=gt$, под-



ставляя вмѣсто v въ уравненіе $s=\frac{vt}{2}$ равную ему величину получимъ $s=\frac{gt^2}{2}$ ....(4) Уравненіе это показываетъ намъ величину пространства проходимаго тѣломъ въ теченіи t времени. Если тоже самое тѣло подъ вліяніемъ той же непрерывной силы будетъ двигаться въ продолженіи t' времени, то пространство v', пройденное имъ, выразится уравненіемъ $s'=\frac{gt'^2}{2}$. Сравнивъ это уравненіе съ предшествовавшимъ, получимъ, что $s: s'=t^2: t'^2$ т. е. что *пройденныя пространства будутъ относиться между собою какъ квадраты временъ.*

Если бы на тѣло, получившее по прошествіи t времени конечную скорость $v=gt$ (1), вдругъ перестала дѣйствовать ускоряющая сила, то очевидно, что двигаясь равномѣрно, оно бы проходило въ каждую единицу времени пространство, соотвѣтствующее скорости $v=gt$; слѣдовательно по прошествіи t времени прошло бы равномѣрнымъ движеніемъ путь $gt.\ t$ или gt^2. — Такъ какъ этотъ путь gt^2 вдвое болѣе пути $\frac{gt^2}{2}$, проходимаго тѣломъ при равноускоренномъ движеніи, то очевидно, что *пространство пройденное тѣломъ при равноускоренномъ движеніи равно половинѣ пространства, пройденнаго тѣломъ въ тоже самое время равномѣрнымъ движеніемъ съ конечною скоростію.*
Въ формулѣ $v=gt$ скорость выражена въ зависимости отъ времени t, но мы можемъ выразить ее въ зависимости отъ пройденныхъ пространствъ, исключая t изъ уравненій $v=gt$ и $s=\frac{1}{2}gt^2$. Возвышая первое въ квадратъ и выводя величину t^2 изъ втораго, получимъ $v^2=g^2t^2$ и $t^2=\frac{2s}{g}$; подставляя вмѣсто t^2 равную ему величину въ первое уравненіе получимъ $v^2=g^2\frac{2s}{g}$, и, сокращая на g, будемъ имѣть $v^2=2gs$ или $v=\sqrt{2gs}$. — Изъ послѣдней формулы слѣдуетъ, что, *если тѣло двигается равноускоренно, то скорость, пріобрѣтенная имъ въ извѣстное время, будетъ пропорціональна корню квадратному изъ пройденнаго пространства.* Показанныя нами формулы $v=gt$ и $s=\frac{1}{2}gt^2$ могутъ быть примѣняемы къ каждому равноускоренному движенію съ тѣмъ условіемъ, чтобы величина g, выражающая пространство пройденное въ единицу времени, измѣнялась для каждой силы согласно напряженію ея.—

Равноукосненное движеніе.

§ 37. Изъ сдѣланнаго нами разсмотрѣнія равноускореннаго движенія не трудно понять, что всякое ускореніе движенія основано на свойствѣ инерціи, т. е. на стремленіи къ продолженію сообщеннаго ему движенія. И поэтому, какъ мы видѣли, ускореніе движенія можетъ совершаться только по одному направленію съ дѣйствіемъ силы. Но тоже самое свойство инерціи, заставляющее тѣло продолжать однажды начатое движеніе, служитъ причиною почему замедленіе или совершенное уничтоженіе движенія можетъ быть произведено только непрерывной силой, дѣйствующей по направленію противоположному къ движенію тѣла. — Если сила, способная производить равноускоренное движеніе, дѣйствуетъ противу тѣла обладающаго уже извѣстною скоростію, то слѣдствіемъ дѣйствія ускоряющей силы будетъ въ этомъ случаѣ равномѣрное уменьшеніе скорости, слѣдовательно произойдетъ *равноукосненное движеніе.* Вмѣстѣ съ тѣмъ это показываетъ, что законы, выведенные для равноускореннаго движенія имѣютъ обратное примѣненіе при равноукосненномъ движеніи.—Какимъ родомъ совер-

шается это примѣненіе мы будемъ говорить впослѣдствіи при разсмотрѣніи дѣйствія силы на тѣло движущееся по инерціи.

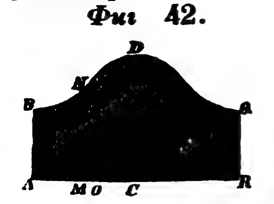
Равноукосненное движеніе можетъ быть выражено графически подобно равноускоренному движенію съ тою только разницею, что въ первомъ случаѣ величина постепенно уменьшающихся промежуточныхъ скоростей (*MN*) опредѣляется *нисходящею* линіею *CD* (фиг. 41).

Фиг. 41.

§ 38. Разсматривая дѣйствіе непрерывныхъ силъ, мы предполагали, что силы эти ускоряютъ или замедляютъ движеніе тѣлъ равномѣрно т. е. что величина ускоренія или замедленія остается постоянною вовсё время движенія. Но такъ какъ напряженіе силъ во время дѣйствія ихъ можетъ измѣняться отъ различныхъ причинъ, то очевидно, что и приростаніе скоростей, производимое ими, можетъ быть также неравномѣрно т. е. что въ равныя времена увеличенія или уменьшенія скоростей могутъ быть не равны между собою. Не взирая на это, мы можемъ представить себѣ время движенія раздѣленнымъ на такія малыя частицы, въ продолженіи которыхъ разница въ приростаніи скоростей будетъ до того незначительна, что мы можемъ принять для всѣхъ этихъ частицъ приростаніе за равномѣрное. Если въ продолженіи этой безконечно малой частицы времени мы можемъ принять движеніе за равномѣрно измѣняющееся, то для полученія приростанія скорости въ единицу времени намъ должно раздѣлить приростаніе скорости *v* длявсего движенія на самое время движенія *t*. Неровно ускоренное движеніе.

Мы даемъ здѣсь только понятіе объ опредѣленіи измѣненія скорости, потому что строгое объясненіе этого предмета можетъ быть сдѣлано только при помощи высшей математики. Для болѣе яснаго представленія этого движенія мы считаемъ полезнымъ показать здѣсь графическій способъ изображенія его. Такъ какъ при неравномѣрномъ дѣйствіи силъ измѣненіе скоростей не можетъ уже быть пропорціонально временамъ движенія (§ 34 и 35), то при графическомъ представленіи этого движенія линіи *BD* и *DQ* (фиг. 42), выражающія увеличеніе и уменьшеніе скоростей, будутъ не прямыя, а кривыя. Но и въ этомъ случаѣ площадь фигуры (S) выразитъ намъ пространство, пройденное неравномѣрно измѣняющимся движеніемъ, потому что площадь *ABCD* можетъ быть разложена линіями отвѣсными къ *AR* на безконечное множество четвероугольниковъ каковъ *MOPN*, изъ которыхъ площадь каждаго равна произведенію изъ части (*MO*) основанія на соотвѣтственную ему высоту (*MN* или *OP*). Точно также и пространство, пройденное въ извѣстное время не равномѣрно измѣняющимся движеніемъ, можетъ быть раздѣлено на части, изъ которыхъ каждая есть произведеніе изъ извѣстной частицы времени на соотвѣтственную ей скорость.

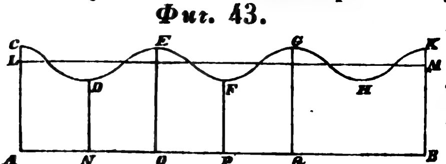
Фиг 42.



Періодическое движеніе.

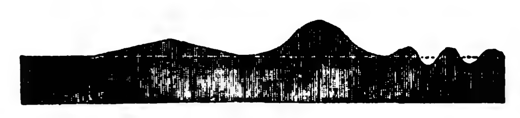
§ 39. Представимъ себѣ, что сила, производящая неравноускоренное движеніе, по прошествіи извѣстнаго времени начинаетъ одинакимъ образомъ замедлять движеніе тѣла.—Если тѣло, совершающее оба эти движенія въ равные промежутки времени, проходитъ равные пути съ измѣняющимися скоростями, то говорятъ, что тѣло совершаетъ движеніе *періодическое*.—Графическимъ выраженіемъ этого движенія можетъ служить намъ волнообразная кривая линія *CDEFGHK* (фиг. 43).

Фиг. 43.



Если вдоль этой линіи провести линію *LM*, параллельную къ *AB*, то не трудно замѣтить, что разстояніе (*AL*=*BM*) между параллельными линіями должно выражать *среднюю* скорость періодическаго движенія.—Линіи же *AC*, *OE*, *BK* и др. *наибольшія*, а *DN*, *PF* и др. *наименьшія* скорости для равныхъ промежутковъ времени *AO*, *OQ*, *QB*, называемыхъ періодами.

Фиг. 44.



равном. равно равно неравно неравно періодич.
ускор. укосн. ускор. укосн.

Въ заключеніе статьи объ различномъ дѣйствіи силъ считаемъ полезнымъ представить общее графическое изображеніе различныхъ родовъ движенія (фиг. 44)

Движеніе массы при непрерывномъ дѣйствіи силы.

§ 40. При выводѣ разсмотрѣнныхъ нами законовъ движенія мы не принимали во вниманіе массу тѣла, а постоянно предполагали, что сила дѣйствуетъ на тѣло какъ на матеріяльную точку.

Примѣнимъ теперь выведенные нами законы къ тому случаю, когда силы дѣйствуютъ на совокупность матеріяльныхъ точекъ т. е. примемъ во вниманіе массу тѣлъ. Такого рода случаи постоянно встрѣчаются въ природѣ, ибо всѣ тѣла сей послѣдней состоятъ изъ извѣстной массы.

Для этого разсмотримъ задачи прямолинейнаго движенія, при которыхъ даны величина силъ, производящихъ движеніе, и величина массъ, приводимыхъ въ движеніе. — Чтобы облегчить изслѣдованіе этихъ задачъ, мы начнемъ съ самыхъ простыхъ и отъ нихъ уже перейдемъ къ разсмотрѣнію случаевъ болѣе сложныхъ и общихъ.

Изъ законовъ равноускореннаго движенія (§§ 35 и 36) мы знаемъ, что скорость v, пріобрѣтенная тѣломъ по прошествіи t секундъ, будетъ gt футовъ, а пространство, пройденное имъ въ это время, будетъ $\frac{1}{2}gt^2$.

Если масса въ одинъ фунтъ, подверженная непрерывному и равномѣрному давленію одного фунта во время притяженія своего къ землѣ пріобрѣтаетъ ускореніе g футовъ въ секунду, то очевидно, что и всякая другая сила, дѣйствующая совершенно подобнымъ образомъ, сообщитъ одному и тому же тѣлу туже самую скорость въ секунду. Если бы это тѣло лежало на совершенно гладкой, горизонтальной поверхности, которая не позволяла бы тяжести приводить тѣло въ движеніе, то ясно, что при непрерывномъ дѣйствіи на тѣло силы равной давленію одного фунта оно будетъ двигаться по направленію

силы, имѣя въ секунду тоже самое ускореніе g футовъ, если только при движеніи тѣло не будетъ встрѣчать сопротивленія отъ тренія, и другихъ препятствій.

Сила въ два раза большаго напряженія т. е. при непрерывномъ давленіи, соотвѣтствующемъ 2 фунтамъ, дѣйствуя по горизонтальному направленію на тѣло въ 1 фунтъ, доставитъ ему два раза большее ускореніе т. е. ускореніе 2 g, а при давленіи соотвѣтствующемъ 100 фунтамъ дастъ ускореніе 100 g футовъ.

Мы разсматривали величину ускоренія при увеличеніи силъ, дѣйствующихъ на равныя массы. Покажемъ теперь отношеніе ускореній для силъ, дѣйствующихъ на различныя массы.

Такъ какъ величины массъ тѣлъ пропорціональны вѣсамъ ихъ, то допустивъ что сравненіе силъ происходитъ на одномъ какомъ нибудь мѣстѣ земли, мы можемъ выражать массу всякаго тѣла его вѣсомъ.

Положимъ, что сила, напряженіе которой соотвѣтствуетъ давленію 100 фунтовъ, дѣйствуетъ на тѣло въ *два* фунта.—Если давленіе силы въ 100 фунтовъ распространяется между массою тѣла въ два фунта, то каждый фунтъ послѣдняго будетъ двигаться отъ давленія соотвѣтствующаго $\frac{100}{2}$ или 50 фунтамъ и поэтому пріобрѣтетъ въ 50 разъ большее ускореніе противу того ускоренія, которое можетъ быть доставлено одному фунту давленіемъ въ 1 фунтъ. Слѣдовательно величина ускоренія тѣла въ два фунта при дѣйствіи на него силы во 100 фунтовъ будетъ равна $\frac{100}{2}$ g фут.

Точно также, если дѣйствіе той же силы распространится въ теченіи того же времени равномѣрно между массою тѣла въ *четыре* фунта, то каждый фунтъ этого тѣла будетъ уже двигаться отъ давленія, соотвѣтствующаго $\frac{100}{4}$ или 25 фунтовъ. Понятно, что величина ускоренія въ настоящемъ случаѣ будетъ $\frac{100}{4}$ g футовъ.

Такъ какъ послѣднее ускореніе $\frac{100}{4}$. g фут. при удвоеніи массы уменьшилось въ два раза противъ предыдущаго $\frac{100}{2}$. g фут., то мы имѣемъ право заключить, что ускоренія, а слѣдовательно и скорости, пріобрѣтаемыя тѣлами въ равное время при *одновременномъ* дѣйствіи на нихъ равныхъ силъ должны *уменьшаться* или *увеличиваться*, согласно *увеличенію* или *уменьшенію* массъ или, выражаясь математическимъ языкомъ, должны находиться въ *обратномъ отношеніи къ массамъ*. Такъ напр., если при дѣйствіи одной и той же силы скорость массы въ 1 фунтъ равна 20 футамъ въ секунду, то масса въ два фунта получитъ только скорость 10 фут., а масса въ 4 фунта отъ дѣйствія той же самой силы въ продолженіи того же времени получитъ только скорость 20 раздѣленную на 4 или 5 футовъ въ секунду и т. д.

Если помножить массы тѣлъ на скорости, доставляемыя имъ одновременнымъ дѣйствіемъ одной и той же силы, то найдемъ, что всѣ произведенія будутъ равны между собою. И въ самомъ дѣлѣ взявши эти произведенія для предыдущаго примѣра получилъ $1 \times 20 = 20$; $2 \times 10 = 20$; $4 \times 5 = 20$.

Количество движенія. Произведенія эти изъ массъ на соотвѣтствующія имъ скорости называются *величинами* или *количествами движенія*, которыя всегда бываютъ одинаковы для различныхъ массъ, въ томъ случаѣ, когда на нихъ дѣйствуютъ одновременно равныя силы.

Но какъ сопротивленіе, обнаруживаемое массою тѣла, мы можемъ представить себѣ въ видѣ силы, противящейся напряженію силы дѣйствующей силы и такъ какъ обѣ эти на основаніи выведеннаго нами выше пропорціональны между собою, то мы имѣемъ право сдѣлать заключеніе, что при дѣйствіи всякой силы происходитъ равное и противоположное сопротивленіе. Этотъ общій законъ для дѣйствія силъ обыкновенно выражается слѣдующими словами: *дѣйствіе равно противодѣйствію*.

Справедливость этого закона можно повѣрить слѣдующимъ простымъ опытомъ.—Если сдѣлать два шара изъ мягкой глины и ударить однимъ шаромъ объ другой, находящійся въ покоѣ, то въ мѣстахъ прикосновенія ихъ произойдетъ одинаковое сплющеніе обоихъ шаровъ. Явленіе это очевидно происходитъ отъ того, что шаръ, находившійся въ покоѣ, передаетъ въ противоположную сторону полученный имъ толчекъ.

Законъ этотъ подтверждается многими другими опытами и явленіями, и мы будемъ имѣть случаи въ послѣдствіи видѣть его примѣненіе.

Количество дѣйствія. § 41. При техническихъ произведеніяхъ для выполненія разнаго рода работъ, имѣющихъ цѣлію полезное преобразованіе произведеній природы, употребляются различныя силы. Но не взирая на видимое разнообразіе работъ, всѣ онѣ заключаются собственно въ преодоленіи давленія и различныхъ сопротивленій на протяженіи извѣстнаго пути. Такъ напр. работникъ, переносящій грузъ во второй этажъ амбара, претерпѣваетъ давленіе вѣса груза на всемъ продолженіи пути равнаго высотѣ, на которую требуется поднять тяжесть; другой работникъ, передвигающій грузъ по горизонтальной дорогѣ въ тележкѣ, побѣждаетъ сопротивленіе, представляемое на пути движенія треніемъ, которое мы можемъ представить себѣ въ видѣ силы, дѣйствующей на ободья колесъ и на ступицы.

При распиливаніи работникъ кладетъ на бревно пилу, отъ тяжести которой зубцы врѣзываются нѣсколько въ дерево; сила сцѣпленія между частицами послѣдняго представляетъ сопротивленіе передвиженію зубцовъ и это сопротивленіе долженъ преодолѣвать работникъ на протяженіи, величина котораго зависитъ отъ величины пути, проходимаго зубцами пилы.

Величина работы производимой во всѣхъ этихъ случаяхъ очевидно должна зависить какъ отъ величины самаго сопротивленія, такъ и

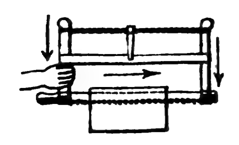
отъ величины пути, на протяженіи котораго распредѣляется равномѣрно это сопротивленіе.

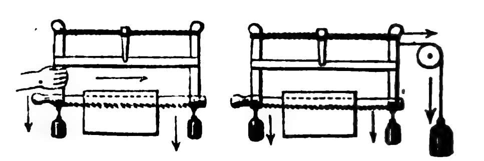
Понятно, что при равныхъ путяхъ производимая работа будетъ пропорціональна побѣждаемому сопротивленію т. е. что въ два или въ три раза большее сопротивленіе будетъ соотвѣтствовать въ два или въ три раза большему производству работы. Такъ напр. если по одной лѣстницѣ подпимаются рядомъ два человѣка, изъ которыхъ одинъ приноситъ каждый разъ въ верхнюю часть строенія восемь кирпичей, а другой одинъ только кирпичъ, то очевидно, что работа перваго человѣка будетъ въ восемь разъ болѣе противу работы втораго человѣка. Точно также при предположеніи равныхъ силъ, слѣдовательно равныхъ сопротивленій работа будетъ пропорціональна пути, на протяженіи котораго должно распредѣляться это равномѣрное сопротивленіе. Такъ напр. если два человѣка на одной и той же землѣ вырыли двѣ одинаковой глубины канавы, изъ которыхъ одна вдвое длиннѣе противу другой, то очевидно, что человѣкъ вырывшій длиннѣйшую канаву произвелъ въ два раза большую работу противу другаго.

Положимъ, что два человѣка перетаскиваютъ мѣшки съ мукою въ амбаръ, лежащій 10 футами выше поверхности земли. — Если одинъ изъ нихъ переноситъ за разъ три мѣшка и поднимется съ ними два раза въ амбаръ, то цѣлая работа его будетъ въ шесть разъ болѣе противу того, если бы онъ поднялся въ амбаръ всего одинъ разъ съ однимъ мѣшкомъ. Если другой человѣкъ, несущій за разъ только два мѣшка, поднимается въ амбаръ три раза, то и его работа будетъ въ шесть разъ болѣе противу того, когда бы онъ поднялся только разъ съ однимъ мѣшкомъ. Въ настоящемъ случаѣ мы сравнили и измѣрили работы двухъ людей, помноживъ грузъ или сопротивленіе, которое они должны были выносить, на число пройденныхъ путей и нашли, что работа обоихъ ихъ въ шесть разъ болѣе противу работы, заключающейся въ поднятіи единицы груза на единицу пути, слѣдовательно всякая работа можетъ быть измѣрена произведеніемъ изъ величины сопротивленія на величину пути, на которомъ равномѣрно побѣждалось это сопротивленіе.

Но какъ бы ни была разнообразна работа всегда можно подвести ее подъ самый простой случай, заключающійся въ поднятіи извѣстной тяжести на опредѣленную высоту. Такъ напр. для распиливанія полѣна водятъ пилою вдоль него съ тою цѣлію, чтобы заставить зубцы пилы врѣзываться въ дерево (фиг. 45). При этомъ одна часть дѣйст-

Фиг. 45. *Фиг. 46.* *Фиг. 47.*





вующей силы производитъ вертикальное давленіе на зубцы, между тѣмъ какъ другая часть передвигаетъ ихъ по горизонтальному направленію. Понятно, что работа эта нисколько не измѣнится, если пила будетъ нагружена гирями, которыя замѣнятъ вертикальное давленіе, и если при этомъ человѣкъ употребитъ усиліе только на одно горизонтальное передвиженіе пилы (46 фиг.).

Послѣдняя работа равносильна поднятію тяжести, потому что сила человѣка въ этомъ случаѣ можетъ быть замѣнена дѣйствіемъ тяжести на гирю, привязанную къ концу пилы (фиг. 47).

Положимъ, что человѣкъ, вытягивая горизонтально веревку (фиг. 48) удерживаетъ въ равновѣсіи массу въ одинъ пудъ. —Если онъ подвинется по горизонтальному направленію на 10 футовъ, то очевидно, что и поддерживаемая имъ масса поднимается кверху также на 10 футовъ.—Понятно, что это отношеніе между силой и сопротивленіемъ не измѣнится и въ томъ случаѣ, когда масса будетъ двигаться не по вертикальному, а по горизонтальному направленію, какъ напримѣръ при движеніи экипажей.

Фиг 48.

Если при этомъ сравненіи работъ съ поднятіемъ тяжести принять за единицу работы такую работу, которая предполагаетъ побѣжденіе равномѣрнаго сопротивленія заключающагося въ давленіи извѣстной единицы вѣса на протяженіи одного фута, то очевидно, что работа, производимая давленіемъ P единицъ вѣса (слѣдовательно сила P) на протяженіи s футовъ, выразится произведеніемъ $P.\ s$.

Это произведеніе $P.\ s$, по предложенію Каріолиса условились называть *работою силы*; нѣкоторые называютъ его также *количествомъ дѣйствія*. — Иные же ученые различаютъ при этомъ два рода силъ, такъ напр. если направленіе дѣйствія силы P совпадаетъ съ направленіемъ движенія точки ея приложенія, то называютъ ее собственно *двигающею* силою въ противоположность *противодѣйствующей* силѣ, когда направленіе ея обратно направленію движенія точки приложенія. Примѣромъ послѣдняго рода работы можетъ служить сопротивленіе, представляемое землянымъ валомъ углубляющемуся въ него ядру. —

За *единицу работы* принимаютъ у насъ въ Россіи силу, необходимую для поднятія *одного пуда на одинъ футъ* и называютъ эту единицу *пудо-футомъ*. Примѣняя эту единицу къ примѣру представленному на фиг. 46 понятно, что сила, передвигающая пудъ на 10 футовъ, равна 10 пудофутамъ. При чемъ не принимается въ расчетъ время, въ продолженіи котораго производится работа.— Но въ промышленномъ отношеніи иногда бываетъ весьма важно опредѣленіе силы производящей работу въ продолженіи *извѣстнаго времени*. За единицу времени обыкновенно принимаютъ секунду и по этому единицей работы въ этомъ случаѣ будетъ давленіе производимое пудомъ въ теченіе секунды на протяженіи одного фута.

Въ механикѣ силу различныхъ двигателей сравниваютъ обыкновенно съ *силою лошади*. Причиной этого было слѣдующее обстоятель-

ство: въ Англіи въ прежнее время на различныхъ заводахъ и фабрикахъ употребляли только силы лошадей для приведенія въ движеніе различныхъ машинъ.—Впослѣдствіи, съ развитіемъ паровыхъ машинъ, упругость паровъ замѣнила силу лошадей, и задача заключалась уже въ томъ, чтобы построить машину, которая бы могла замѣнять работу извѣстнаго числа лошадей.— Такъ какъ едва ли возможно найти двѣ лошади съ совершенно равными силами, то по этому условились за силу лошади принять силу равную 15 пудофутамъ въ секунду, и эту нормальную силу обыкновенно называютъ силой *паровой лошади.* — Поэтому если говорятъ, что какая нибудь машина имѣетъ 120 силъ, то это значитъ, что сила машины равна 120×15 или 1800 пудофутамъ. — Мы показали здѣсь выраженіе силы паровой лошади, употребляемое у насъ въ Россіи. Во Франціи за силу паровой лошади принимается 75 килограммометровъ въ секунду, т. е. силу достаточную для поднятія 75 килограммовъ на 1 метръ въ продолженіи одной секунды. Въ Пруссіи же сила паровой лошади считается равною 510 футо-фунтамъ.—Въ Англіи единицею принимаютъ 542 футо-фунтовъ.

Показанною нами единицею можетъ быть выражена всякая работа силъ, употребляемыхъ, какъ въ общежитіи, такъ и въ промышленности.

§ 42. Чтобы сдѣланные нами выводы представить *общимъ* выраженіемъ положимъ, что совершенно одинаковаго напряженія непрерывное давленіе или, говоря другими словами, двигающая сила равна P фунтамъ и что p выражаетъ число фунтовъ двигающагося тѣла. Ясно, что при этомъ условіи на каждый фунтъ послѣдняго будетъ дѣйствовать давленіе $\frac{P}{p}$, а слѣдовательно и произведенное имъ ускореніе будетъ равно $\frac{P}{p}.g$. Ускореніе это $\frac{P}{p}.g$ очевидно будетъ выражать скорость пріобрѣтенную тѣломъ по прошествіи первой секунды (единицы времени). Слѣдовательно по прошествіи t секундъ скорость v, пріобрѣтенная тѣломъ, будетъ равна $\frac{P}{p}.\ g.\ t$, а путь пройденный имъ въ это время $s = {}^1/_2 \frac{P}{p}.\ g.\ t^2$.— Общіе выводы изъ уравненій равноускореннаго движенія.

Изъ двухъ послѣднихъ уравненій выводятся весьма важныя слѣдствія.

1) Первое слѣдствіе выводится изъ уравненія $v = \frac{P}{p} gt$. Помноживъ обѣ части уравненія на p и раздѣливъ на g, получимъ $v.\frac{p}{g} = Pt$, гдѣ p есть число фунтовъ движимаго тѣла, а g величина ускоренія тяжести. Дробь $\frac{p}{g}$, какъ мы уже знаемъ изъ § 17, выражаетъ массу тѣла m, вѣсящаго p фунтовъ. Замѣняя дробь $\frac{p}{g}$ буквою m, означающей массу, получимъ $m.\ v = P.\ t$. т, е. *произведеніе изъ двигающейся массы на скорость пріобрѣтенную этою массою, равно произведенію изъ силы, дѣйствующей равномѣрнымъ давленіемъ на время, въ продолженіе котораго она дѣйствовала.* Это произведеніе изъ массы тѣла на его скорость, какъ мы уже сказали, называется *величиною* или *количествомъ движенія.* Количество движенія, какъ показываетъ уравненіе $m.\ v = P.\ t$. равно соб-

ственно не двигающей силѣ, но произведенію изъ двигающей силы на продолжительность ея дѣйствія.

Въ новѣйшее время нѣкоторые изъ французскихъ ученыхъ предлагали послѣднее произведеніе называть *усиліемъ* силы въ извѣстное время.

Положимъ, что двѣ силы P и P', дѣйствуя *въ продолженіи одного и того же времени* t, сообщаютъ двумъ различнымъ массамъ m и m' двѣ разныя скорости v и v'. Для дѣйствія обѣихъ силъ мы получимъ слѣдующія уравненія $m.v = P.t$ и $m'v' = P't$. — Сравнивая между собою эти два уравненія, получимъ слѣдующую пропорцію $mv : m'v' = Pt : P't$ или какъ $P : P'$. Это значитъ, что количества движенія двухъ двигающихся тѣлъ относятся между собою какъ двигающія силы: но недолжно забывать, что это справедливо только при томъ предположеніи, когда обѣ силы дѣйствуютъ одинаковое время.

Допустимъ теперь, что при одновременномъ дѣйствіи двухъ силъ P и P' на двѣ различныя массы m и m' скорости, сообщаемыя послѣднимъ, равны между собою. Если ввести въ уравненіе $mv : m\,v' = P : P'$ послѣднее условіе, что $v = v'$, то получимъ $m : m' = P : P'$. — Это значитъ, что для доставленія *равныхъ скоростей* силами, дѣйствующими *одновременно* на двѣ различныя массы, *силы должны быть пропорціональны массамъ* т. е. чѣмъ болѣе масса тѣла тѣмъ большую силу должно употребить для приведенія ея въ движеніе.

Такъ какъ оба послѣдніе вывода, что силы пропорціональны произведеніямъ изъ массъ на скорости или самымъ массамъ тѣлъ, получены нами при томъ предположеніи, что продолжительность силъ дѣйствія одинакова или что скорости пріобрѣтенныя массами равны, то очевидно, что нельзя ни этими произведеніями, ни величиною самыхъ массъ опредѣлять *безусловно* величину двигающихъ силъ.

По этому если спрашиваютъ, какую должно употребить силу для того, чтобы 25-ти фунтовому ядру сообщить скорость 2000 футъ, то вопросъ будетъ до тѣхъ поръ неопредѣленнымъ пока къ заданнымъ условіямъ не будетъ прибавлено по прошествіи какого времени должна быть пріобрѣтена ядромъ эта скорость.— При данномъ же условіи можно только сказать, что произведеніе $P.t$ равно произведенію изъ массы ядра на его скорость. Если ядро вѣситъ 25 фунтовъ, то масса его m равна $\frac{25}{g}$ (§ 17), слѣдовательно $Pt. = \frac{25}{g}2000$ (*).Такъ какъ величина g согласно опытамъ равна 32 футамъ, то $P.\ t = \frac{25}{32} \cdot 2000 = 1592$. Если двигающая сила дѣйствовала только въ теченіи секунды т. е. когда $t=1$, то величина давленія $P=1592$; когда $t=\frac{1}{10}$ части секунды, то $P=15920$, если $t=\frac{1}{100}$ части секунды, то $P=159200$ фунтамъ.

Мы считаемъ необходимымъ прибавить здѣсь слѣдующее обстоятельство. Прежде когда допускали существованіе такъ называемыхъ мгновенныхъ силъ, то мѣрою величины этихъ силъ принимали произведеніе изъ массы на скорость. На этомъ основаніи обыкновенно говорили, что для сообщенія двумъ равнымъ массамъ двухъ различныхъ скоростей, изъ которыхъ одна должна быть въ 1000 разъ болѣе другой, стоитъ только приложить къ одной массѣ въ 1000 разъ бо́льшую силу противу силы, приложенной къ другой массѣ.—Понятно, что это можетъ быть справедливо только въ томъ случаѣ, когда продолжительность дѣйствія обѣихъ силъ одинакова.—Если же продолжительность дѣйствія одной изъ этихъ силъ равна $\frac{1}{10}$ ч. секунды, а другой, производящей меньшую скорость только $\frac{1}{1000}$ части секунды, слѣдовательно въ послѣднемъ случаѣ во сто разъ меньше нежели въ первомъ, то величина давленія, произведшаго въ 1000 разъ бо́льшую скорость очевидно будетъ только въ десять разъ болѣе величины давленія, дѣйствовавшаго на другую массу, потому что продолжительность дѣйствія въ первомъ случаѣ была во сто разъ болѣе нежели во второмъ.

(*) Для большей простоты мы выпускаемъ здѣсь дробь $\frac{1}{2}$.



2) Второе слѣдствіе изъ уравненій, полученныхъ для равноускореннаго движенія $v=\frac{P}{p}gt$ и $s=\frac{1}{2}\frac{P}{p}gt^2$ выводится изъ сравненія ихъ.

Такъ какъ первое изъ этихъ уравненій $v=\frac{P}{p}gt$ заключаетъ величины v и t, а второе $s=\frac{1}{2}\frac{P}{p}gt^2$ величины s и t, то можно получить третье уравненіе, въ которомъ не будетъ вовсе t и которое слѣдовательно будетъ только въ зависимости отъ величинъ s и v. Для этого должно получить изъ перваго уравненія отдѣльно величину t и эту самую величину вставить во второе уравненіе. Помноживъ первое уравненіе на p и раздѣливъ его на $P.g$ получимъ $\frac{v.p}{P.g}=t$. При возвышеніи этого уравненія въ квадратъ будемъ имѣть $t^2=\frac{v^2p^2}{P^2g^2}$. Вставляя эту величину для t^2 въ уравненіе, полученное для пути s, будемъ имѣть $s=\frac{1}{2}\frac{P}{p}g.\frac{v^2p^2}{P^2g^2}=\frac{1}{2}\frac{v^2p.}{Pg}$; откуда $s.P=\frac{1}{2}\frac{p}{g}v^2$. Такъ какъ дробь $\frac{p}{g}$ выражаетъ массу m тѣла (§ 17), имѣющаго p фунтовъ, то получимъ окончательно $\frac{1}{2}m.v^2=P.s$.

Уравненіе это, выраженное словами, говоритъ, что *половина произведенія изъ массы тѣла на квадратъ скорости, пріобрѣтенной имъ, равна произведенію изъ двигающей силы на путь, пройденный тѣломъ подъ вліяніемъ этой силы.*

Если другая сила P', дѣйствуя непрерывнымъ и равномѣрнымъ давленіемъ на массу m', сообщаетъ ей по прошествіи пути s конечную скорость v', то на основаніи полученнаго нами вывода будемъ имѣть $\frac{1}{2}m'v'^2=P's$.

Сравнивая это уравненіе съ предыдущимъ, получимъ $m\,v^2:m'v'^2=P:P'$ т. е. *двигающія силы относятся между собою какъ произведенія изъ приведенныхъ ими въ движеніе массъ на квадраты сообщенныхъ скоростей.*

При этомъ мы нарочно предположили, что скорости v и v' опредѣлены при совершеніи тѣлами равныхъ путей.—Даже при этомъ предположеніи двигающія силы не равны этимъ произведеніямъ, но только пропорціональны имъ.— Здѣсь должно замѣтить, что нѣтъ никакого противорѣчія между прежде выведенною нами пропорціею $P:P'=mv:m'v'$ и пропорціею $P:P'=mv^2:m'v'^2$, въ первомъ случаѣ v и v' означаютъ скорости пріобрѣтенныя въ равныя времена, между тѣмъ какъ во второмъ они означаютъ скорости пріобрѣтенныя по совершеніи равныхъ путей.

Для большаго разъясненія смысла уравненія $\frac{1}{2}m\,v^2=P.s$ возмемъ прежній примѣръ. Положимъ, что 25-ти фунтовое ядро пріобрѣло скорость 2000 футъ послѣ равномѣрнаго дѣйствія силы P на протяженіи пути s.—Масса m этого ядра будетъ равна $\frac{25}{32}$; слѣдовательно $P.s=\frac{1}{2}\frac{25}{32}.2000^2$.— Ясно, что величина P можетъ быть только тогда опредѣлена когда извѣстно s.—Если $s=1000$ ф., 100 футъ, 10 футъ, то P будетъ равно 1592, 15920, 159200 фунтамъ.

Если 25-ти фунтовое ядро должно оставить жерло орудія по пріобрѣтеніи скорости 2000 футъ, то равномѣрное давленіе пороха при длинѣ канала орудія въ 10 футовъ должно простираться до 159200 фунтовъ.

Произведеніе mv^2 принято называть въ механикѣ *живою силою* массы m, обладающей скоростію v. Названіе это введено въ науку еще въ 1695 году по предложенію знаменитаго философа Лейбница, который на живую силу смотрѣлъ какъ на истинную мѣру силы тѣла, находящагося въ движеніи.—Живую силу онъ противоставлялъ *мертвой силѣ*, подъ которой разумѣлъ давленіе оказываемое на точки прикосновенія тѣлъ находящихся въ равновѣсіи.

Подобное раздѣленіе было сдѣлано Галилеемъ, который первый положилъ различіе между давленіемъ покоющагося тѣла на опору и силою тѣла, находящагося въ движеніи. При дальнѣйшихъ своихъ изслѣдованіяхъ Галилей пришелъ къ заключенію, что *моментъ* силы, подъ которымъ онъ разумѣлъ ве-

личину ея, зависитъ какъ отъ массы, такъ и отъ скорости двигающагося тѣла и что сверхъ того онъ долженъ быть пропорціоналенъ произведенію ихъ.— По мнѣнію его произведеніе $m. v$ т. е. произведеніе массы на скорость составляетъ мѣру силы двигающагося тѣла. — Мнѣніе это, принятое французскимъ философомъ Декартомъ, имѣло безусловный авторитетъ въ наукѣ до появленія предложенія Лейбница принимать за мѣру двигающихъ силъ не произведеніе изъ массы на скорость но произведеніе изъ массы на квадратъ скорости.—Возникшіе по этому поводу споры между учеными прекратились въ 1743 году съ появленіемъ извѣстнаго курса динамики французскаго ученаго Даламберта, который показалъ, что споръ состоитъ собственно въ словахъ и что причина его заключается въ недоразумѣніи, происшедшемъ отъ неточности однихъ только выраженій. И въ самомъ дѣлѣ силы, производящія движеніе, пропорціональны произведеніямъ изъ массы на скорости, когда подъ послѣдними разумѣютъ скорости происшедшія отъ равно продолжительнаго дѣйствія силъ на тѣла. Точно также двигающія силы пропорціональны произведеніямъ изъ массы на квадраты скоростей, когда принимаются въ разсчетъ тѣ скорости, которыя пріобрѣли тѣла по совершенніи одинаковыхъ путей.

Какъ не очевидна была правильность этого вывода, но онъ не разрѣшалъ еще вопроса о томъ, слѣдуетъ ли полагать различіе между такъ называемыми мертвыми и живыми силами. — Вслѣдствіе этого недоумѣнія укоренилось въ механикѣ различіе между статическою и динамическою силою и это различіе попадалось даже въ механикахъ, появлявшихся въ началѣ настоящаго столѣтія, пока наконецъ новая школа французскихъ геометровъ, начало которой положили Понселе и Коріолисъ неразрѣшила совершенно сомнѣнія возникшаго по этому предмету.

По ученію этой школы, мнѣнія которой мы придерживались въ предшествовавшемъ изложеніи *подъ силою должно разумѣть единственно необходимую и достаточную причину для произведенія измѣненія скорости матеріяльной точки какъ относительно величины такъ и направленія.* На этомъ основаніи сила можетъ быть уподоблена нѣкоторымъ образомъ давленію или стремленію, единицею котораго, какъ мы уже говорили, служитъ условно принятое давленіе однофунтовой массы на сопротивленіе, препятствующее массѣ покоряться дѣйствію тяжести. — Если на какую нибудь массу дѣйствуютъ по противоположнымъ направленіямъ двѣ равныя силы, то очевидно, что масса эта вслѣдствіе такого дѣйствія силъ не произведетъ движенія и самыя силы будутъ находиться въ равновѣсіи. Тѣмъ не менѣе давленіе или стремленіе, производимое этими силами на массы будетъ продолжаться постоянно и ясно, что это давленіе точно также обладаетъ живою силою какъ и всякое другое давленіе, производящее движеніе въ томъ случаѣ, когда на него не дѣйствуетъ противоположное давленіе.—Если же происходитъ движеніе или измѣненіе движенія, какъ это бываетъ въ дѣйствительности, когда сила не уравновѣшивается другою силою, то скорость произведеннаго движенія зависитъ не отъ одной только величины силы и массы, подверженной непрерывному и равномѣрному давленію, но также и отъ продолжительности дѣйствія этого давленія.

Когда по прошествіи извѣстнаго времени прекращается дѣйствіе силы, то тѣло сохраняетъ неизмѣнно состояніе, въ которомъ оно находилось въ послѣдній моментъ дѣйствія силы,—слѣдовательно оно стремится сохранять пріобрѣтенную скорость или, говоря другими словами, начинаетъ двигаться съ равномѣрною скоростію. На основаніи приведеннаго нами понятія о силѣ очевидно нельзя опредѣлить, какая именно была сила, доставившая тѣлу равномѣрное движеніе. Мы можемъ только сказать, какую силу необходимо употребить для того, чтобы въ *данное время* своего дѣйствія она могла сообщить тѣлу скорость, дѣйствительно обнаруживаемую имъ или можемъ сдѣлать вопросъ, какой величины должно употребить силу, чтобы дѣйствуя въ теченіи даннаго времени по противоположному направленію на тѣло, она могла привести его въ состояніе покоя или сообщить извѣстную скорость по направленію про-

тивному первоначальному движенію. Сила есть только причина, измѣняющая состояніе покоя или движенія и не должно полагать, чтобы она служила причиною сохраненія уже совершающагося движенія. —Прежде, когда принимали существованіе мгновенно дѣйствующихъ силъ, были того мнѣнія, что въ тѣлѣ сохраняющемъ равномѣрное движеніе, заключается постоянно одинаковая сила, мѣрою которой принимали произведеніе изъ массы на скорость; произведеніе это есть величина, названная нами выше количествомъ движенія, которое, какъ мы видѣли, равно произведенію изъ постояннаго и равномѣрнаго давленія P произведшаго движеніе во время t, въ продолженіи котораго дѣйствовало это давленіе или $m. v = P. t.$ — Поэтому $m. v$, какъ мы уже объясняли прежде, равно собственно не двигающей силѣ, но произведенію изъ силы на время дѣйствія или равно дѣйствію силы въ продолженіи времени t.—Понятно, что бываютъ случаи, когда величина t можетъ быть весьма мала, но не можетъ быть такого случая, чтобы t совершенно равнялось нулю, слѣдовательно не можетъ быть также и мгновенно дѣйствующихъ силъ. Еще менѣе можно допустить, какъ полагаютъ нѣкоторые, существованіе силы инерціи, потому что подъ инерціей должно разумѣть свойство матеріи, которое не въ состояніи производить ни движенія, ни измѣнить уже совершающагося движенія. Инерція служитъ только причиною къ сохраненію движенія въ томъ видѣ, какъ оно было сообщено дѣйствующею силою въ послѣдній моментъ ея дѣйствія на тѣло, а не развиваетъ сама силы въ двигающемъ тѣлѣ; напротивъ того къ двигающемуся тѣлу должна быть приложена сила для произведенія измѣненія въ его скорости, слѣдовательно и для того, чтобы скорость его привести къ нулю.

Какъ на основаніи составленнаго нами понятія о силѣ мы показали, что количество движенія; не можетъ служить мѣрою той силы, которая могла бы произвести существующее движеніе или могла бы привести къ нулю скорость, совершающагося движенія, точно также можно доказать, что величина, названная Лейбницемъ живою силою, именно произведеніе $m v^2$, не есть мѣра ни для силы, могущей сообщить массѣ m скорость v, ни для силы, которая въ состояніи привести къ нулю скорость v.—Чтобы убѣдиться въ этомъ стоитъ только припомнить себѣ выведенное нами уравненіе, $\frac{1}{2} mv^2 = Ps$, гдѣ половина живой силы или $\frac{1}{2} mv^2$ равна произведенію изъ равномѣрно дѣйствующаго давленія P на путь s, на протяженіи котораго дѣйствовало давленіе P.

Чѣмъ болѣе или менѣе s, очевидно тѣмъ большую или меньшую силу P должно употребить для того, чтобы произвести одну и туже скорость v.— Если бы масса m двигалась безъ содѣйствія новой силы съ однажды пріобрѣтенною скоростію v, то мы не можемъ сказать ничего объ силѣ двигающейся такимъ образомъ массы. Такъ какъ въ этомъ случаѣ не происходитъ никакого измѣненія въ состояніи пріобрѣтенномъ массою, которая только сохраняетъ пріобрѣтенную ею скорость, то мы столько же можемъ сказать объ дѣйствовавшей на нее силѣ, сколько бы могли сказать, при совершенномъ покоѣ сохраняемомъ массою, о тѣхъ силахъ, которыя привели ее въ это состояніе, потому что на самомъ дѣлѣ мы можемъ представить себѣ множество случаевъ дѣйствія силъ, могущихъ произвести это состояніе.—Скорѣе мы можемъ опредѣлить равнодѣйствующую силу, которая, дѣйствуя по протяженію извѣстнаго пути можетъ привести массу m въ состояніе покоя. Сила P, могущая произвести это на протяженіи s, очевидно должна имѣть такую величину чтобы $P. s = \frac{1}{2} m v^2$.— Слѣдовательно только половина живой силы можетъ выразить намъ, какое должно быть употреблено давленіе P на протяженіи s по противоположному направленію къ первоначальному движенію для того, чтобы привести скорость v къ нулю.

Въ этомъ только случаѣ, какъ мы уже сказали, произведеніе P. s равно половинѣ живой силы.— Сказанное нами легко объясняется слѣдующимъ примѣромъ. Положимъ, что скорость пріобрѣтенная поѣздомъ на желѣзной дорогѣ равна 40 футамъ, вѣсъ поѣзда равенъ 100,000 фунтамъ, а сопротивленіе пред-

ставляемое треніемъ дѣйствуетъ какъ сила, равняющаяся $\frac{1}{200}$ вѣсу поѣзда, слѣдовательно какъ 500 фунтовъ. — Эти 500 фунтовъ выражаютъ силу P, отъ дѣйствія которой должна постоянно уменьшаться пріобрѣтенная поѣздомъ скорость 40 фут., двигающая масса $m = \frac{100,000}{g}$, а скорость $v = 40$ фут. — Введя эти величины въ уравненіе $P. s = \frac{1}{2} m v^2$, получимъ $500. s = \frac{1}{2} \frac{100,000}{g} 40^2$, гдѣ g, равно какъ извѣстно, 32 футамъ. Сдѣлавъ полное вычисленіе получимъ $s = 4893$ футамъ.

3) Намъ остается показать еще одно слѣдствіе, которое можно вывести изъ уравненія для равноускореннаго движенія $s = \frac{1}{2} \frac{P}{p} g^2. t^2$. — Помноживъ обѣ части этого уравненія на $2p$ и раздѣливъ на g получимъ $\frac{2ps}{g} = Pt^2$. Такъ какъ $\frac{p}{g}$ есть масса m тѣла, вѣсящаго p фунтовъ, то будемъ имѣть $2ms = Pt^2$. Уравненіе это, выраженное словами, показываетъ, что удвоенное произведеніе изъ массы на путь равно произведенію изъ силы, двигающей массу по этому пути на квадратъ времени, въ продолженіи котораго происходитъ движеніе. Если таже самая масса m должна двигаться на томъ же самомъ пути s подъ вліяніемъ другой силы P', дѣйствующей въ продолженіи времени t', то на основаніи выведеннаго нами выше уравненія P' и t', должны имѣть такія величины, чтобы $2ms$ было равно $P' t'^2$ т. е. $P: P' = t'^2 : t^2$ или, выражаясь обыкновеннымъ языкомъ, силы должны быть обратно пропорціональны квадратамъ временъ, которыя необходимо употребить для передвиженія равныхъ массъ на равныя разстоянія. По этому если два работника поднимаютъ равныя массы на равныя высоты при чемъ одинъ изъ работниковъ A употребляетъ для этого вдвое болѣе времени противу работника B, то отношеніе силъ P и P', употребленныхъ работниками опредѣлится изъ пропорціи $P: P' = 1^2 : 2^2 = 1 : 4$ т. е. работникъ, который поднимаетъ на извѣстную высоту массу въ половинное время, долженъ употребить въ четыре раза бо́льшую силу противу другаго.

Три слѣдствія выведенныя нами изъ общихъ уравненій для равноускореннаго движенія выразятся слѣдующими формулами: $m. v = P. t$, $\frac{1}{2} m. v^2 = P. s$, $2ms = P. t^2$.

—

Взаимное дѣйствіе силъ.

Общее понятіе о взаимномъ дѣйствіи силъ.

§ 43. Если силы, дѣйствующія на тѣло, взаимно уничтожаются, то говорятъ, что онѣ находятся въ *равновѣсіи*. Мы говоримъ двѣ силы равны, если онѣ, дѣйствуя по противоположнымъ направленіямъ на тѣло, удерживаютъ другъ друга въ равновѣсіи.

Если будетъ отнята отъ тѣла одна изъ двухъ противоположныхъ и находящихся въ равновѣсіи силъ, то очевидно, что остающаяся сила доставитъ тѣлу *движеніе* по направленію своего дѣйствія.

Точно также должно произойти движеніе и въ томъ случаѣ, когда двѣ или нѣсколько силъ, дѣйствуя на тѣло, не находятся въ равновѣсіи. Для бо́льшей ясности мы ограничимся изслѣдованіемъ дѣйствія силъ

на одну матеріяльную точку и если будемъ говорить, что силы дѣйствуютъ на тѣло, то подъ этимъ будемъ разумѣть, что силы дѣйствуютъ на тѣло точно такъ какъ на матеріяльную точку.

Составленіе силъ дѣйствующихъ на точку по одному и по противоположнымъ направленіямъ.

§ 44. Разсмотримъ сперва самый простой случай, когда тѣло подвержено *одновременному* вліянію *двухъ* силъ, направленныхъ въ одну сторону. Очевидно, что совокупное ихъ усиліе можетъ быть замѣнено *одною силою равною ихъ суммѣ.*

Эта послѣдняя сила называется *равнодѣйствующею* двухъ первыхъ силъ, которыя именуются *составляющими.* Самое же дѣйствіе замѣненія двухъ или нѣсколькихъ силъ одною равнодѣйствующею называется *составленіемъ силъ.* Понятно, что это составленіе можетъ быть отнесено одинаковымъ образомъ какъ къ силамъ дѣйствующимъ, такъ и къ прекратившимъ свое дѣйствіе.

Точно также и дѣйствіе, производимое одною силою, мы можемъ замѣнить *одновременнымъ* дѣйствіемъ двухъ силъ; — таковое замѣненіе одной силы двумя другими называется *разложеніемъ* силы.

Если дѣйствуютъ на тѣло нѣсколько силъ, направленія которыхъ совпадаютъ между собою, то онѣ произведутъ точно такое же дѣйствіе какъ и одна сила равная ихъ суммѣ и дѣйствующая по одному съ ними направленію.

Такимъ образомъ, если нѣсколько слабосильныхъ лошадей, запряженныхъ рядомъ другъ за другомъ, доставляютъ повозкѣ извѣстное движеніе по направленію какой либо линіи, то ясно, что мы можемъ доставить повозкѣ тоже самое движеніе, если припречь къ ней одну лошадь, сила которой равна суммѣ отдѣльныхъ силъ, двигавшихъ прежде повозку.

Скорость, доставляемая въ этомъ случаѣ тѣлу равнодѣйствующей силой, будетъ равняться суммѣ тѣхъ скоростей, которыя могло бы пріобрѣсти тѣло отъ отдѣльнаго дѣйствія каждой составляющей.—

И въ самомъ дѣлѣ, если m есть масса, приводимая въ движеніе, c—скорость доставляемая равнодѣйствующей, а c', c'', c'''.....— скорости, которыя въ состояніи придать тѣлу составляющія силы, то $mc = mc' + mc'' + mc''' = m(c' + c'' + c''')$; раздѣливши на m обѣ части уравненія $mc = m(c' + c'' + c''')$ получимъ, $c = c' + c'' + c'''$.—

Это показываетъ намъ, что скорости движенія могутъ быть слагаемы подобно силамъ.

Когда же на тѣло дѣйствуютъ двѣ *неравныя* силы *по противоположнымъ направленіямъ* другъ къ другу, то бо́льшую силу мы можемъ представить себѣ разложенною на двѣ составляющія, изъ которыхъ одна равна и противоположна дѣйствующей силѣ, а потому и уничтожается ею. Слѣдовательно тѣло будетъ подвержено только дѣйствію другой составляющей силы, которая очевидно *равна разности* составляющихъ силъ и направлена въ одну сторону съ бо́льшею изъ нихъ. Эта послѣдняя изъ составляющихъ очевидно будетъ *равнодѣйствующею* обѣихъ противоположныхъ силъ и скорость, доставляемая ею будетъ *равна разности тѣхъ скоростей*, которыя каждая отдѣль-

ная сила въ состояніи доставить тѣлу. — Такъ напр. если бы тѣло была подвержено дѣйствію двухъ противоположныхъ силъ, изъ которыхъ одна дѣйствовала бы со скоростію 10, а другая 4 футовъ въ секунду, то тѣло будетъ двигаться по направленію бо́льшей силы со скоростію 6 футовъ.

Если какъ по одному, такъ и по противоположному направленію дѣйствуютъ на тѣло нѣсколько силъ, то равнодѣйствующая ихъ равна суммѣ всѣхъ силъ дѣйствующихъ по одну сторону безъ суммы силъ, дѣйствующихъ по противоположному направленію, причемъ тѣло будетъ двигаться по направленію равнодѣйствующей бо́льшей суммы силъ.

Если силы находятся между собою въ равновѣсіи, то, не нарушая послѣдняго, мы можемъ прибавить къ нимъ произвольное число взаимно уравновѣшивающихся силъ. Точно также отъ системы силъ, сохраняющихъ равновѣсіе мы можемъ отнять извѣстное число силъ, находящихся въ равновѣсіи другъ съ другомъ, не нарушивъ нисколько общаго равновѣсія остальныхъ силъ.

Но если къ системѣ силъ, сохраняющихъ равновѣсіе, прибавить нѣсколько силъ, не выполняющихъ этого условія, то очевидно, что новая система силъ не будетъ уже сохранять равновѣсія. Тоже самое произойдетъ и въ томъ случаѣ, когда мы отнимемъ отъ силъ, сохраняющихъ равновѣсіе, одну или нѣсколько силъ, ненаходящихся въ равновѣсіи.

Изъ этого слѣдуетъ, что равновѣсіе извѣстнаго числа силъ не нарушится, если мы *каждую* изъ нихъ увеличимъ или уменьшимъ въ извѣстное число разъ. —

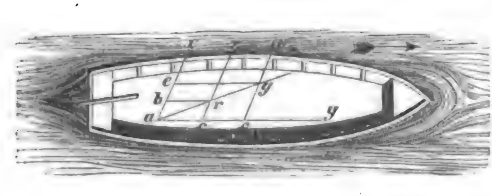
Составленіе силъ, дѣйствующихъ на точку по пересѣкающимся направленіямъ.

§ 45. Обратимся теперь къ тому случаю, когда двѣ силы P и Q (ф.49) дѣйствуютъ на какую нибудь матеріальную точку a такимъ образомъ, что направленіе одной силы съ направленіемъ другой составляютъ извѣстный уголъ $c\,a\,b$. Чтобы понять, какимъ образомъ происходитъ въ этомъ случаѣ составленіе силъ возмемъ слѣдующій примѣръ. Представимъ себѣ, что вдоль по рѣкѣ движется барка равномѣрно и прямолинейно. Когда мы положимъ на палубу этой барки въ точкѣ a (фиг. 50) билліардный шаръ, то очевидно, что онъ будетъ также участвовать въ движеніи барки и если не тронуть его съ мѣста, то онъ произведетъ равномѣрное движеніе по прямой линіи ay, параллельной къ направленію движенія барки. Положимъ, что сила теченія заставляетъ барку, а слѣдовательно и шаръ пройти въ одну секунду по линіи ay разстояніе ac и представимъ себѣ, что въ самомъ нача-

Фиг. 49.

P c r a b Q

Фиг. 50.



лѣ секунды шаръ будетъ подверженъ давленію руки, которая, толкая его по линіи *ax*, заставитъ къ концу секунды пройти по направленію послѣдней линіи путь *ab*.—Такъ какъ во время послѣдняго движенія шара барка передвинулась по линіи *ay* разстояніе *ac*, то очевидно, что въ это время линія, по которой двигался шаръ отъ непрерывнаго дѣйствія руки, передвинется вдоль линіи *ay* параллельно самой себѣ и по окончаніи секунды займетъ положеніе *cz*.—Такъ какъ вслѣдствіе сдѣланнаго нами предположенія шаръ можетъ пройти въ секунду на передвигаемой линіи путь равный *ab*, то по этому если изъ точки *b* провести параллельно къ *ax* линію *cz* и отложить на ней часть *cr* равную *ab*, то точка *r* представитъ намъ мѣсто, въ которомъ будетъ находиться шаръ по прошествіи секунды.—Соединивъ точку *r* съ *b*, мы получимъ параллелограмъ *a c r b*, оконечность діагонали (*ar*) котораго укажетъ намъ точку, до которой достигнетъ шаръ по окончаніи секунды, вслѣдствіе одновременнаго дѣйствія двухъ силъ, дѣйствовавшихъ на него подъ угломъ.

Разсуждая такимъ же образомъ, легко доказать, что по прошествіи двухъ секундъ, въ продолженіи которыхъ какъ лодка, такъ и шаръ пройдутъ вдвое большія разстоянія по линіямъ *ay* и *ax*, точка *g*, составляющая оконечность параллелограмма *a e g f*, будетъ представлять мѣсто нахожденія шара по прошествіи двухъ секундъ.

Очевидно, что движеніе шара *составлено* въ этомъ случаѣ изъ двухъ движеній одного по линіи *ax* а другаго по линіи *ay*; послѣднія движенія называются *составляющими* относительно *сложнаго* движенія, производимаго ими.

Мы доказали, что при этомъ сложномъ движеніи шаръ по прошествіи секунды будетъ находиться на оконечности діагонали *ar*, а по прошествіи двухъ секундъ на оконечности діогонали *ag*, но изъ этого еще не слѣдуетъ, чтобы шаръ двигался прямолинейно вдоль этихъ діагоналей. Послѣднее можетъ произойти только въ томъ случаѣ, когда точки *a*, *r* и *g* лежатъ на одной прямой линіи. — Для выполненія этого условія необходимо чтобы углы *cag* и *car*, *gae* и *rab* были равны между собою.—Углы же эти могутъ быть равны только тогда, когда линіи, означающія направленія и величины одной силы пропорціональны линіямъ, выражающимъ одновременныя дѣйствія другой силы, т. е. когда *ac* составляетъ такую же часть отъ *af*, какую линія *ab* отъ *ae*. И въ самомъ дѣлѣ только при этомъ условіи въ треугольникахъ *acr* и *afg* линія *cr* равная *ab* будетъ составлять половину отъ параллельной ей линіи *fg* равной *ae*. Геометрія показываетъ намъ, что если двѣ стороны одного треугольника пропорціональны двумъ сторонамъ другаго и углы заключающіеся между этими сторонами равны, то такіе треугольники подобны между собою. — Въ подобныхъ же треугольникахъ *car* и *fag* соотвѣтственные углы *car* и *fag* должны быть равны другъ другу. — Но линіи, выражающія направленія и величины дѣйствующихъ силъ, могутъ быть пропорціональны только въ томъ случаѣ, когда движенія, производимыя дѣйствующими силами, или равномѣрны или

равноускоренны. Такъ напр. въ избранномъ нами примѣрѣ точки *a*, *r* и *g* будутъ находиться на одной прямой линіи только въ томъ случаѣ если при началѣ секунды, какъ сила приводящая въ движеніе лодку, такъ и сила, толкающая шаръ, прекратили свое дѣйствіе т. е. когда оба эти тѣла двигаются равномѣрно по инерціи; для этого стоитъ только предположить, что лодка находится на стоячей водѣ и получаетъ толчекъ въ тотъ самый моментъ, когда рука толкаетъ шаръ. Точно также точки *a*, *r* и *g* будутъ находиться на прямой линіи, когда обѣ силы, дѣйствующія на лодку и на шаръ производятъ равноускоренныя движенія.

Для знакомыхъ съ математикою мы представляемъ болѣе строгое доказательство почему при сдѣланныхъ нами условіяхъ линіи, выражающія направленія и величины дѣйствующихъ силъ, должны быть пропорціональны между собою.—Положимъ, что при равномѣрности движеній по обоимъ направленіямъ v и V выражаютъ скорости сообщенныя тѣлу, значитъ $ab=vt$, $ae=vT$ и $ac=Vt$, $af=VT$, по этому $ab : ae=t : T$ и $ac : af=t : T$, слѣдовательно $ab : ae=ac : af$—

Если оба движенія равноускоренны, то положимъ что g и G представляютъ величину ускореній, $ab=\frac{g}{2}t^2$, $ae=\frac{g}{2}T^2$ и $ac=\frac{g}{2}t^2$, $af=\frac{G}{2}T^2$. По этому $ab : ae=t^2 : T^2$ и $ac : af=t^2 : T^2$ слѣдовательно опять получимъ туже пропорцію $ab : ae=ac : af$.—

Подобной пропорціональности мы не можемъ вывести для того случая, когда одна сила доставлять шару равномѣрное, а другая равноускоренное движеніе или наконецъ когда обѣ силы производятъ неравномѣрныя движенія —

Въ этомъ случаѣ, основываясь на предыдущемъ разсужденіи, мы можемъ доказать только, что по окончаніи извѣстной единицы времени шаръ будетъ находиться на оконечности параллелограмма, построеннаго на линіяхъ выражающихъ величину и направленіе силъ дѣйствовавшихъ на тѣло въ продолженіи той же единицы времени.—

Мы показали условія необходимыя для того, чтобы сложное движеніе, производимое по діагонали, было прямолинейно.—

Но прямолинейное движеніе можетъ быть всегда произведено дѣйствіемъ одной силы. — Слѣдовательно и въ томъ случаѣ, когда отъ вліянія двухъ силъ, дѣйствующихъ подъ угломъ, шаръ *a* совершаетъ, движеніе по діагонали *ar*, то движеніе это можетъ быть произведено также и одною силою, направляющею шаръ по линіи *ar* и заставляющею его дойти до оконечности діогонали *r*. —
Эта сила очевидно и есть равнодѣйствующая составляющихъ обѣихъ составляющихъ силъ.

Мы же знаемъ, что силы относятся между собою какъ пути, которые проходитъ тѣло въ равныя времена при отдѣльномъ дѣйствіи на него каждой силы; слѣдовательно если *ab* (фиг. 49) вдвое болѣе противу *ac*, то и сила *P*, дѣйствовавшая на первомъ пути, будетъ вдвое болѣе противу силы *Q*, дѣйствовавшей на второмъ пути.—Это показываетъ, что силы *P* и *Q* относятся между собою какъ стороны параллелограма *a b c d*. Такой параллелограмъ называется *параллелограмомъ силъ*; силы же, которыхъ напряженія пропорціональны сторонамъ этого параллелограма, называются *составляющими*. —

Если обѣ силы *P* и *Q* дѣйствуютъ одинаковымъ образомъ на тѣло,

т. е. если онѣ производятъ или равномѣрное или равноускоренное движеніе, то діагональ параллегограмма выразитъ намъ направленіе *равнодѣйствующей* и вмѣстѣ съ тѣмъ величину пути, по которому должно пройти тѣло въ извѣстное время вслѣдствіе напряженія равнодѣйствующей силы. —

Дѣйствіе двухъ составляющихъ силъ *P* и *Q* на точку *a* будетъ очевидно уничтожено въ томъ случаѣ, если въ точкѣ *a* приложимъ силу равную и противоположную равнодѣйствующей двухъ составляющихъ силъ.—

Выведенный нами законъ можетъ быть выраженъ слѣдующими словами:

Если чрезъ точку приложенія двухъ силъ провести линіи, означающія направленія и величины ихъ, то діагональ параллелограма, построеннаго на этихъ двухъ линіяхъ, опредѣлитъ намъ какъ величину, такъ и направленіе равнодѣйствующей обѣихъ силъ.

Подобно сложенію силъ приложенныхъ къ одной точкѣ въ различныхъ направленіяхъ можно производить также и сложеніе скоростей, которыми обладаетъ тѣло вслѣдствіе дѣйствія на него двухъ силъ пересѣкающихся подъ угломъ. —И въ самомъ дѣлѣ, если находящемуся на баркѣ шару (фиг. 48) сообщены въ одно время двѣ скорости по различнымъ направленіямъ *af* и *ae*, то очевидно, что во время движенія своего къ оконечности діогонали *ag* онъ будетъ имѣть одну общую скорость. Величина и направленіе этой скорости, при одинаковомъ дѣйствіи силъ выразятся діагональю параллелограма построеннаго на линіяхъ означающихъ величину и направленіе двухъ сообщенныхъ тѣлу скоростей *af* и *ae*. Параллелограмъ скоростей.

Основываясь на этомъ подобіи между сложеніемъ силъ и сложеніемъ скоростей мы имѣемъ право сказать, что *ag* есть равнодѣйствующая скорость составляющихъ скоростей *af* и *ae*.

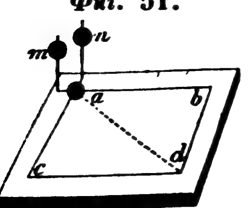
Вотъ почему весьма часто вмѣсто закона параллелограмма силъ употребляютъ выраженіе *параллелограмъ скоростей*.

Законъ этотъ, имѣющій важное примѣненіе какъ въ наукѣ такъ и въ общежитіи, извѣстенъ подъ названіемъ закона *параллелограма силъ*. Повѣрка закона параллелограма силъ.

Законъ параллелограма силъ можетъ быть повѣренъ на опытѣ различными приборами, изъ которыхъ мы укажемъ на болѣе простые

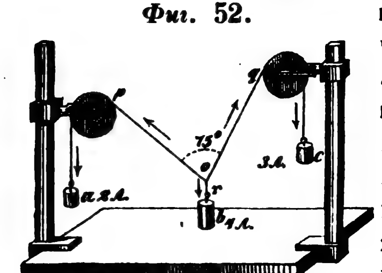
1) Возмемъ деревянную доску (фиг. 51), на которой начерченъ параллелограмъ *a b c d* и въ одномъ изъ угловъ послѣдняго поставимъ шаръ. Если послѣ того на продолженіи линіи *ab* и *ac* утвердить въ равномъ растояніи отъ *a* двѣ отвѣсныя проволоки, на которыя надѣты, какъ на оси, два совершенно равные шара *m* и *n*, то опустивши ихъ съ одинаковой высоты вдоль проволокъ, мы увидимъ, что отъ одновременнаго удара, сообщеннаго ими шару *a*, онъ покатится по линіи *ad*, составляющей діагональ начерченнаго параллеграма.

Фиг. 51.



2) Къ обыкновенному столу утверждаютъ двѣ стойки (фиг. 52) съ подвижными колесами такимъ образомъ, чтобы отвѣсныя площади обоихъ колесъ совпадали между собою. Если пропустить по ободу колесъ снурокъ и привязать къ нему на одномъ концѣ гирю *a*, на другомъ гирю *c* и между ними гирю *b*, то при извѣстномъ положеніи снурка мы получимъ равновѣсіе между гирями. Нетрудно замѣтить, что при этомъ на точку *o* дѣйствуютъ три силы по направленіямъ *op*, *oq* и *or*, и мы можемъ легко удостовѣриться, что между величиною и направленіемъ ихъ существуетъ въ дѣйствительности отношеніе, обусловливаемое закономъ параллелограма силъ.

Фиг. 52.

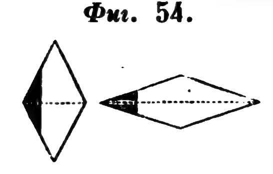


Положимъ, что гиря $a=2$, а гиря $c=3$ лотамъ; какова должна быть величина силы *b* при углѣ $poq=75^0$. По закону параллелограма силъ мы можемъ легко, какъ показываетъ (фиг. 53), опредѣлить построеніемъ величину равнодѣйствующей. Если сдѣлать уголъ *r s t* равнымъ 75^0, $rs=2$, $st=3$ (произвольно взятымъ линейнымъ мѣрамъ), то найдемъ, что діагональ *sp* будетъ равна 4 такимъ же мѣрамъ. — Слѣдовательно, если уголъ *poq* (фиг. 52) состовляетъ 75^0, то гиря *b* должна имѣть 4 лота. —И въ самомъ дѣлѣ, привѣсивъ къ *o* гирю въ 4 лота, мы увидимъ, что уголъ *poq*, образуемый снуркомъ, будетъ имѣть дѣйствительно 75^0, въ чемъ не трудно удостовѣриться, если приложить къ снуркамъ соотвѣтственнаго размѣра чертежъ представленный на (фиг. 53).

Фиг. 53.

Геометрія показываетъ намъ, что въ каждомъ треугольникѣ сумма двухъ сторонъ всегда болѣе третьей; примѣняя это правило къ треугольникамъ *cqr* и *arb* (фиг. 50) мы получимъ, что $ab+ac$ болѣе *ar* т. е. что равнодѣйствующая силъ, дѣйствующихъ подъ угломъ, всегда менѣе суммы ихъ. Отсюда легко понять, что эта равнодѣйствующая будетъ тѣмъ болѣе (фиг. 54), чѣмъ острѣе уголъ, составляемый направленіемъ силъ, и что на оборотъ при однѣхъ и тѣхъ же составляющихъ силахъ она уменьшается съ увеличеніемъ угла, образуемаго силами.

Фиг. 54.



Справедливость этого мы можемъ повѣрить на приборѣ, представленномъ на (фиг. 52).

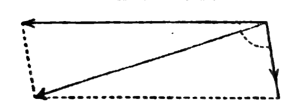
Если, не измѣняя другихъ обстоятельствъ, привѣсить къ точкѣ *o* болѣе 4 лотовъ, то уголъ *poq*, образуемый снуркомъ сдѣлается менѣе 75^0.—И на оборотъ, чѣмъ менѣе *b*, тѣмъ болѣе будетъ уголъ *poq*.

Если обѣ составляющія силы равны, то равнодѣйствующая раздѣлить уголъ образуемый ими, пополамъ.

И въ самомъ дѣлѣ, здѣсь нѣтъ никакой причины думать, чтобы

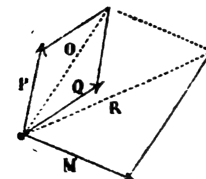
она могла приблизиться къ одной изъ составляющихъ силъ болѣе нежели къ другой, какъ это бываетъ тогда, когда послѣднія силы не равны между собою; въ этомъ случаѣ равнодѣйствующая, какъ показываетъ фиг. 55, приближается къ большей изъ нихъ.

Фиг. 55.



Если бы на какое нибудь тѣло (фиг. 56) дѣйствовало произвольное число силъ, то для отысканія равнодѣйствующей ихъ должно сперва найти равнодѣйствующую *O* двухъ какихъ нибудь силъ *P* и *Q*; потомъ находятъ снова равнодѣйствующую *R* между найденной силой *O* и одной изъ остальныхъ силъ *M* и поступаютъ такимъ образомъ до тѣхъ поръ, пока не приведутъ всѣхъ силъ окончательно къ одной равнодѣйствующей.

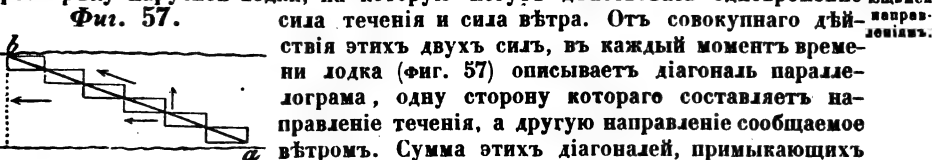
Фиг. 56.



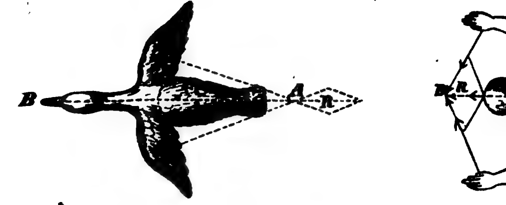
Примѣры составленія силъ встрѣчаются весьма часто въ общежитіи. Такъ напримѣръ капли дождя, притягиваемыя дѣйствіемъ тяжести отвѣсно книзу, могутъ быть въ тоже время уклоняемы по горизонтальному направленію дѣйствіемъ вѣтра, и потому въ вѣтренную погоду дождь падаетъ всегда косвенно на землю.—Подобное направленіе силъ мы встрѣчаемъ при переѣздѣ черезъ рѣку парусной лодки, на которую могутъ дѣйствовать одновременно сила теченія и сила вѣтра. Отъ совокупнаго дѣйствія этихъ двухъ силъ, въ каждый моментъ времени лодка (фиг. 57) описываетъ діагональ параллелограма, одну сторону котораго составляетъ направленіе теченія, а другую направленіе сообщаемое вѣтромъ. Сумма этихъ діагоналей, примыкающихъ другъ ко другу, составляетъ линію *ab*, представляющую направленіе, принимаемое лодкою.—Лодочникъ, желая переѣхать черезъ рѣку, никогда не направляетъ лодки прямо къ тому пункту, къ которому онъ желаетъ пристать. Если бы онъ дѣйствовалъ такимъ образомъ, то былъ бы увлеченъ силою теченія внизъ по рѣкѣ и присталъ бы гораздо ниже того мѣста, гдѣ слѣдуетъ. Онъ знаетъ по опыту, что ему должно подниматься вверхъ по рѣкѣ и тѣмъ дальше, чѣмъ сильнѣе быстрота теченія. Въ этомъ случаѣ лодка его будетъ управляться двумя силами теченіемъ рѣки и толчками, доставляемыми дѣйствіемъ веселъ, которое замѣняетъ силу вѣтра. По этому лодка будетъ двигаться (фиг. 57) по линіи *ab*, состоящей изъ діагоналей параллелограмовъ, одну сторону которыхъ составляетъ направленіе теченія, а другую направленіе, доставляемое веслами. Летящая птица (фиг. 58) ударяетъ обоими крыльями объ воздухъ, который вслѣдствіе закона противодѣйствія передаетъ сообщенные ему толчки въ противоположную сторону. Чрезъ это образуются двѣ силы, пересѣкающіяся позади птицы A и дающія одну равнодѣйствующую R, которая при равномъ дѣйствіи крыльевъ проходитъ вдоль тѣла птицы по сре-

Примѣры составленія силъ дѣйствующихъ по пересѣкающимся направленіямъ.

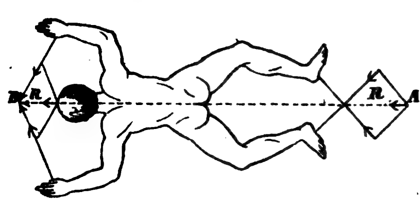
Фиг. 57.



Фиг. 58.



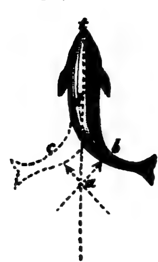
Фиг. 59.



динѣ и постоянно толкаетъ ее впередъ. — Плавающій человѣкъ (фиг. 57) производитъ, какъ извѣстно, руками и ногами одновременныя движенія, посредствомъ которыхъ онъ сообщаетъ водѣ толчки.—Толчки эти передаются водою въ противоположную сторону по направленію означенному на чертежѣ стрѣлками. Отъ совокупнаго дѣйствія этихъ обратныхъ толчковъ образуются двѣ равнодѣйствующія *R* и *R*, общее усиліе которыхъ, направляющееся въ одну сторону, доставляетъ человѣку поступательное движеніе въ водѣ. Если направленіе этихъ равнодѣйствующихъ проходитъ чрезъ средину тѣла человѣка, то движеніе его совершается по прямому направленію, въ противномъ случаѣ плавающій человѣкъ дѣлаетъ поворотъ,

Тоже самое составленіе силъ представляетъ намъ поступательное движеніе рыбы. Если рыба приведетъ свое тѣло въ положеніе *tdb* (фиг.60) и потомъ быстрымъ ударомъ хвоста объ воду влѣво, выпрямитъ свое тѣло по направленію линіи *ta*, то очевидно, что вода вслѣдствіе закона противодѣйствія доставитъ ей обратный толчекъ по направленію стрѣлки *ab*. Точно также если рыба приметъ положеніе *tdc* и потомъ быстрымъ ударомъ хвоста объ воду вправо приведетъ тѣло свое по направленіи линіи *ta*, то вода снова произведетъ обратный толчекъ, означенный на фигурѣ стрѣлкою *ac*. Первый изъ этихъ обратныхъ ударовъ воды *ab* даетъ рыбѣ возможность повернуть вправую а послѣдній *ac* влѣвую сторону. Если же оба эти удара слѣдуютъ такъ быстро другъ за другомъ, то мы принять ихъ за двѣ можемъ силы, дѣйствующія одновременно подъ угломъ другъ къ другу, то очевидно, что силы эти составятъ общую равнодѣйствующую, которая доставитъ тѣлу рыбы поступательное движеніе впередъ по линіи *at*.

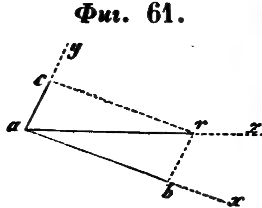
Фиг. 60.



Разложеніе силъ дѣйствующихъ на точку.

§ 46. Мы видѣли, что двѣ или нѣсколько силъ могутъ быть замѣнены одною; очевидно что и одна сила, въ свою очередь, можетъ быть *разложена* на двѣ или нѣсколько другихъ силъ, дѣйствующихъ подъ произвольнымъ угломъ. — Для разложенія данной силы на двѣ другія стоитъ только принять ее за діагональ параллелограма и потомъ построить параллелограмъ, стороны котораго покажутъ намъ величины и направленія составляющихъ силъ. Такъ какъ одна и таже линія можетъ служить діагональю безчисленнаго множества параллелограмовъ, то очевидно, что и данная сила можетъ быть разложена самымъ различнымъ образомъ на двѣ силы. — Но если бы напримѣръ потребовалось замѣнить силу *ar* (фиг. 61) двумя другими силами, изъ которыхъ одна должна имѣть направленіе *ay* и величину *ac*, то вопросъ будетъ совершенно опредѣленъ, потому что въ этомъ случаѣ только однимъ способомъ можно начертить параллелограмъ для отысканія составляющей силы *ab*.

Фиг. 61.



Величину составляющей *ab* можно найти и въ томъ случаѣ, если принять *ar* не за діагональ параллелограма, но за сторону треугольника, другой стороной котораго будетъ линія *ac*. Такъ какъ *cr* равно *ab*, то ясно, что третья сторона треугольника должна выражать величину искомой составляющей силы.

Принимая за сторону треугольника или за діагональ параллелограма одну или обѣ изъ найденныхъ составляющихъ силъ, мы можемъ снова разложить ихъ на двѣ другія и, поступая такимъ образомъ далѣе, получимъ

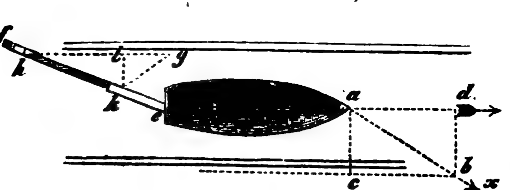
произвольное число силъ, которыя вмѣстѣ произведутъ такое же дѣйствіе какъ и сила *ar*.

Что мы говорили о сложеніи скоростей, то очевидно можно примѣнить и къ разложенію ихъ.

Примѣры разложенія силъ.

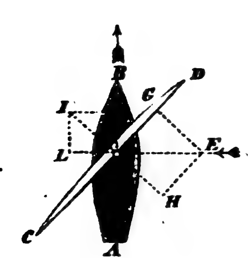
Подобно сложенію силъ и разложеніе ихъ встрѣчается весьма часто въ общежитіи. Когда лодка (фиг. 62) тянется лошадьми, идущими по берегу, то направленіе ихъ дѣйствія *ax* пересѣкаетъ косвенно линію теченія, которое въ настоящемъ случаѣ предполагается *противоположнымъ направленію движенія лодки*. Если *ab* представляетъ величину дѣйствія лошадей, то силу эту мы можемъ разложить на двѣ другія: одну *ad* параллельную къ линіи теченія и другую *ac* отвѣсную къ ней. Нетрудно замѣтить, что только отъ дѣйствія одной первой силы лодка движется впередъ, между тѣмъ какъ послѣдняя стремится отклонять переднюю часть ея къ берегу. Для воспрепятствованія этому отклоненію употребляютъ въ задней части лодки руль, которому даютъ косвенное положеніе.—Положимъ, что *eh* представляетъ направленіе руля, а *gh* величину давленія, оказываемаго на него теченіемъ, дѣйствующимъ по направленію противоположному движенію лодки. Принимая линію *gh*, выражающую давленіе воды, за сторону треугольника, мы можемъ на основаніи предъидущаго разложить это давленіе на двѣ части, одну *gk* отвѣсную къ *eh* и другую *hk* параллельную къ *eh*. Сила *hk* очевидно не производитъ ни какого дѣйствія на руль, который по этому будетъ подверженъ одному вліянію *gk*. Принимая силу *gk* за сторону треугольника, мы можемъ снова разложить ее на *kl* отвѣсную къ *gh* и на параллельную къ *gh* силу *gl*. Сила *gl* направленная въ одну сторону съ теченіемъ противодѣйствуетъ той части силы лошадей, которая движетъ лодку по направленію *ad*. Сила же *kl*, дѣйствуя на руль и поворачивая заднюю часть лодки по направленію своего дѣйствія, заставляетъ переднюю часть лодки поворачиваться въ противоположную сторону и чрезъ то самое противодѣйствуетъ силѣ *ac*. Эти силы *kl* и *ac*, дѣйствуя въ одну сторону, стремятся отклонить лодку къ одному берегу рѣки, но дѣйствіе ихъ уничтожается сильнымъ давленіемъ, которое оказываетъ вода на боковыя стороны лодки. Чтобы доставить сильнѣйшее противодѣйствіе силѣ *ac* т. е. чтобы передняя часть лодки могла постоянно отклоняться отъ берега, даютъ рулю повозможности большее наклонное положеніе относительно направленія движенія лодки.

Фиг. 62.



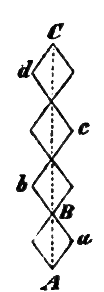
Другой любопытный примѣръ разложенія силъ мы встрѣчаемъ при дѣйствіи вѣтра о парусъ. Положимъ, что *AB* (фиг. 63) представляетъ положеніе лодки, *CD* положеніе паруса, а *EF*—какъ направленіе, такъ и силу вѣтра. Мы можемъ разложить силу *EF* на параллельную къ *CD* силу *EH* и на отвѣсную къ *CD* силу *EG*, вмѣсто которой можно взять силу *FH* какъ равную, параллельную и направленную въ одну сь нею сторону. Сила *EH* не производитъ на парусъ ни какого дѣйствія, между тѣмъ какъ *FH* стремится доставить лодкѣ движеніе по направленію своего дѣйствія. Для большей ясности чертежа перенесемъ изображеніе силы *FH* по другую сторону паруса и положимъ, что $FH = FJ$. Сила *FJ* можетъ быть разложена на двѣ другія силы *KF*, параллельную къ линіи *AB*, и *LF* перпендикулярную къ *AB*. Сила *FK* толкаетъ лодку впередъ по направленію *AB*, между тѣмъ какъ другая часть силы, дѣйствующая по линіи *FL*, толкаетъ лодку въ бокъ. Но какъ при этомъ сопротивленіе воды по причинѣ удлиненной формы лодки оказыва-

Фиг. 63.



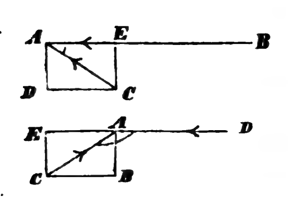
етъ поперечному движенію бо́льшее противодѣйствіе нежели продольному, то очевидно, что лодка будетъ подвигаться впередъ по направленію стрѣлки, отклоняясь только въ незначительной степени въ сторону. Сравнивая силу вѣтра въ различныхъ положеніяхъ относительно паруса, не трудно понять, что дѣйствіе первой силы *KF* будетъ тѣмъ менѣе, а дѣйствіе второй силы *FL* тѣмъ болѣе, чѣмъ косвеннѣе ударяетъ вѣтеръ о парусъ. — Вмѣстѣ съ тѣмъ понятно, что лодка можетъ двигаться при каждомъ направленіи вѣтра, если только онъ не дуетъ прямо противъ лодки. — Въ послѣднемъ случаѣ лодкѣ доставляютъ движеніе посредствомъ такъ называемаго *лавированія.* — Положимъ, что лодка (фиг. 64) должна двигаться отъ *A* къ *C* въ то время, когда вѣтеръ дуть будетъ отъ *C* къ *A*. Представимъ себѣ путь *AC* раздѣленнымъ на части *AB*, изъ которыхъ каждая представляетъ діагонали изображенныхъ на чертежѣ параллелограмовъ. — Мы можемъ достичь предположенной цѣли въ томъ случаѣ, когда при соотвѣтственныхъ положеніяхъ паруса будемъ плыть сперва по линіи *Aa*, потомъ по *ab*, *bc* и такъ далѣе.—

Фиг. 64



Основываясь на разложеніи силъ, мы имѣемъ возможность доказать, что двѣ силы, дѣйствующія подъ угломъ, могутъ взаимно *подкрѣплять* и *ослаблять* другъ друга, судя потому острый или тупой уголъ образуется направленіемъ ихъ. Положимъ, что на точку *A* (фиг. 65) дѣйствуютъ подъ острымъ угломъ двѣ силы, одна по направленію *AB*, а другая по направленію *CA*. Силу *CA* мы можемъ разсматривать какъ равнодѣйствующую двухъ силъ, изъ которыхъ одна *AD* отвѣсна къ *BA*, а другая *EA* паралельна къ *BA*. Очевидно, что послѣдняя, дѣйствуя по одному направленію съ силою *BA*, будетъ усиливать ее.

Фиг. 65 и 66.



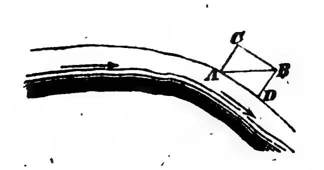
Совсѣмъ другое происходитъ въ томъ случаѣ, если силы *DA* и *CA* дѣйствуютъ на точку *A* подъ тупымъ угломъ (фиг. 66). Представивъ себѣ силу *CA*, какъ равнодѣйствующую силъ *BA* и *EA*, мы найдемъ, что *EA*, дѣйствуя противоположно *BA*, будетъ ослаблять ее.

Если же направленія обѣихъ силъ составляютъ прямой уголъ, то дѣйствія ихъ не будутъ ни подкрѣпляться ни ослабляться взаимно.

Поясним сказанное нами примѣромъ.

Если рѣка въ какомъ либо мѣстѣ дѣлаетъ крутой поворотъ, то очевидно, что вода, текущая со скоростію AB (фиг. 67) должна измѣнять въ томъ мѣстѣ свое направленіе. — Если разложить AB на составляющія AD, параллельную новому направленію и AC перпендикулярную къ берегу, то легко замѣтить, что послѣдняя должна оказывать давленіе на берегъ и что скорость дальнѣйшаго теченія будетъ выражена линіею AD. Такъ какъ AD менѣе AB, то ясно, что при поворотѣ происходитъ уменьшеніе скорости, которое при большой водѣ служитъ весьма часто причиною разливовъ и наводненій въ мѣстахъ лежащихъ выше поворота.

Фиг 67.



§ 47. До сихъ поръ мы разсматривали составленіе силъ дѣйствующихъ на одну точку. Но можетъ встрѣтиться и такой случай, когда двѣ силы дѣйствуютъ на различныя точки, находящіяся въ соединеніи между собою. Понятно, что прежде всего должно обратить вниманіе на самый образъ соединенія этихъ точекъ. *Составленіе силъ, дѣйствующихъ на двѣ точки тѣла.*

Частицы, составляющія всякое твердое тѣло, соединены такимъ образомъ, что сохраняютъ неизмѣнное положеніе относительно другъ друга. Поэтому если сила дѣйствуетъ на одну какую либо точку такого тѣла, то точка эта не можетъ одна притти въ движеніе, не сообщивъ его и другимъ частицамъ. Основываясь на этомъ свойствѣ твердыхъ тѣлъ, очевидно, что все равно въ какомъ бы мѣстѣ, по направленію одной и той же силы, мы не взяли ея точку приложенія.

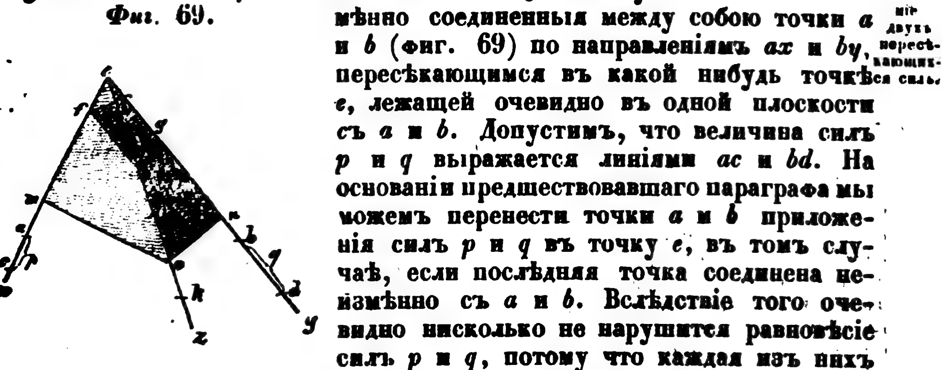
Чтобы доказать, что всякая сила P (фиг. 68) безъ измѣненія своего дѣйствія может быть приложена къ тѣлу въ произвольной точкѣ его, взятой по направленію этой силы, положимъ, что по направленію силы P въ какой нибудь точкѣ B, неизмѣнно соединенной съ точкою A, приложены двѣ противоположныя и равныя P, силы P' и P'', изъ которыхъ каждая равна P. Какъ дѣйствіе послѣднихъ силъ должно взаимно уничтожаться, то очевидно, что точка A не измѣнитъ прежняго своего положенія. Разсматривая же силы P и P'', не трудно замѣтить, что онѣ также уравновѣшиваютъ другъ друга. Слѣдовательно останется только одна сила P', на которую мы можемъ смотрѣть какъ на силу P приложенную къ точкѣ B, взятой на направленіи ея дѣйствія.

Фиг. 68.

Силы, дѣйствующія на двѣ неизмѣнно соединенныя точки, можно замѣнить одною только въ томъ случаѣ, когда направленія ихъ лежатъ въ одной плоскости. При этомъ условіи могутъ встрѣтиться два случая, когда направленія силъ пересѣкаются другъ съ другомъ и когда направленія эти параллельны между собою.

§ 48. Положимъ, что двѣ силы P и Q дѣйствуютъ на двѣ неизмѣнно соединенныя между собою точки a и b (фиг. 69) по направленіямъ ax и by, пересѣкающимся въ какой нибудь точкѣ e, лежащей очевидно въ одной плоскости съ a и b. Допустимъ, что величина силъ p и q выражается линіями ac и bd. На основаніи предшествовавшаго параграфа мы можемъ перенести точки a и b приложенія силъ p и q въ точку e, въ томъ случаѣ, если послѣдняя точка соединена неизмѣнно съ a и b. Вслѣдствіе того очевидно нисколько не нарушится равновѣсіе силъ p и q, потому что каждая изъ нихъ будетъ дѣйствовать, на неизмѣнно соединенныя точки e, a и b, по направленіямъ ex и cy, точно также, какъ и въ томъ случаѣ, когда бы обѣ силы дѣйствовали на первоначальныя точки своего приложенія. Имѣя двѣ силы p и q, дѣйствующія на одну точку e, легко уже, на основаніи приведеннаго выше правила, отыскать какъ величину, такъ и направленіе ихъ равнодѣйствующей. Для этого стоитъ только отложить, начиная отъ точки a величины, соотвѣтствующія этимъ силамъ, т. е. взять линію ef равную ac и eg равную bd и построить параллелограмъ $efhg$, діагональ котораго eh дастъ намъ искомую равнодѣйствующую R. Продолживъ полученную такимъ образомъ равнодѣйствующую до z, мы можемъ перенести точку при- *Сложеніе двухъ пересѣкающихся силъ.*

Фиг. 69.



ложенія ея въ любую точку линіи *ex*, неизмѣнно соединенную съ *e*. Если мы перенесемъ точку приложенія ея напр. въ *i*, то линія *ik* равная *eh* выразитъ направленіе и величину равнодѣйствующей *R* силъ *p* и *q*.

Если изъ какой нибудь точки *o* направленія равнодѣйствующей, означаемой прямою линіею *ex*, провести перпендикуляры *om* и *on* на линіи *ez* и *ey* и опустить изъ *f* перпендикуляръ *fr* на *eh*, то получимъ, что треугольники *efr* и *emo*, *frh* и *eno* подобны между собою (подобіе первыхъ треугольниковъ основано на равенствѣ угловъ *erf* и *ome* какъ прямыхъ и на общемъ углѣ *meo;* подобіе же вторыхъ треугольниковъ основано на равенствѣ угловъ: *frh* и *one* (какъ прямыхъ), *fhr* и *heg* (вслѣдствіе параллельности линій *eg* и *fh*). Изъ подобія же треугольниковъ слѣдуетъ, что $fe:fr=eo:om$ и $fh:fr=eo:on$. Отъ сокращенія обѣихъ пропорцій, мы получимъ одну пропорцію $fe:fh=on:om$, а какъ $fe=p$, $fh=eg=q$, то будемъ имѣть, что $p:q=on:om$, т. е. *равнодѣйствующая двухъ пересѣкающихся силъ, дѣйствующихъ на различныя точки приложенія, направляется такимъ образомъ, что отвѣсныя, проведенныя изъ какой нибудь точки равнодѣйствующей на направленія составляющихъ ее силъ, обратно пропорціональны послѣднимъ.* Изъ пропорціи $p:q=on:om$ слѣдуетъ, что $p.om=q.on$. Это произведеніе изъ силы на отвѣсную, проведенную изъ какой нибудь точки на направленіе силы, называется *статическимъ моментомъ этой силы относительно той точки, изъ которой опущена отвѣсная линія.* Послѣдняя точка называется *центромъ* момента. Поэтому $p.om$ и $q.on$ будутъ статическіе моменты силъ *p* и *q* относительно точки *o*. Изъ выведеннаго же нами равенства $p.om=q.on$ слѣдуетъ, что *статическіе моменты двухъ пересѣкающихся силъ*, (дѣйствующихъ на различныя точки приложенія) *относительно каждой точки ихъ равнодѣйствующей, должны быть равны между собою.*

Понятно, что заключеніе это можетъ быть отнесено также и къ пересѣкающимся силамъ, дѣйствующимъ на одну точку, потому что *ex* выражаетъ направленіе равнодѣйствующей какъ для силъ приложенныхъ къ *a* и *b*, такъ и къ *e*.

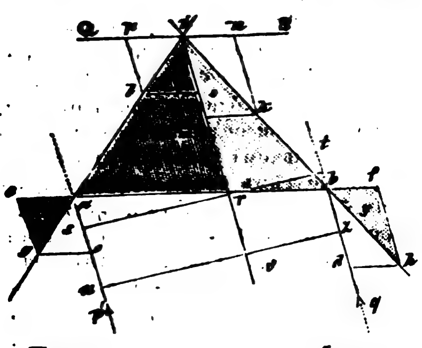
Сложен. двухъ паралл. сил. § 49. Перейдемъ теперь къ разсмотрѣнію того случая, когда силы, приложенныя къ двумъ неизмѣнно соединеннымъ между собою точкамъ, дѣйствуютъ по *параллельнымъ направленіямъ* и при томъ *обращены въ одну сторону.*

Если точки приложенія *a* и *b* (фиг. 70) двухъ параллельныхъ силъ *p* и *q*, относительныя величины которыхъ выражены линіями *ac* и *bd*, соединить прямою *ab* и потомъ къ точкамъ *a* и *b* приложить двѣ взаимно равныя и противоположныя силы, изображенныя линіями *ea* и *bf*, лежащими на продолженіи прямой *ab*, то очевидно, что обѣ послѣднія силы будутъ взаимно уничтожать другъ друга и потому присоединеніемъ ихъ мы ни сколько не измѣнимъ дѣйствія силъ *p* и *q* на точки *a* и *b*. Поэтому всѣ четыре силы *ea*, *bf*, *ac* и *bd* будутъ имѣть туже самую равнодѣйствующую какъ и силы *p* и *q*. Равнодѣйствующую же четырехъ указанныхъ нами силъ легко уже найти съ помощію закона параллелограмма силъ. Для этого стоитъ соединить силы *ac* и *ea* въ равнодѣйствующую $ag=x$, а силы *bd* и *bf* въ равнодѣйствующую $bh=y$. Какъ продолженныя линіи *ag* и *bh* пересѣкаются въ точкѣ *i*, то ни что намъ не мѣшаетъ перенести въ послѣднюю точку силы, представляемыя этими линіями. Для этого намъ стоитъ взять линію *il* равную *ag*, а линію *ik* равную *bh*. Остается только найти равнодѣйствующую силъ *il* и *ik*. Каждую изъ этихъ силъ мы можемъ принимать какъ равнодѣйствующую двухъ другихъ силъ, приложенныхъ къ точкѣ *i* или, говоря другими словами, можемъ себѣ представить, что сила *ik* разложена на *im* и *in*, а сила *il* на *io* и *ip*, при чемъ силы *pi* и *in* взяты нами на линіяхъ *pm* параллельной къ *ab*, а силы *io* и *im* — на линіи *ir* параллельной къ направленію данныхъ силъ *p* и *q*. Понятно, что при этомъ расположеніи ни что намъ не мѣшаетъ взять новыя составляющія равными соотвѣтственнымъ составляющимъ силамъ *x* и *y*. Какъ силы *ip* и *in* равны и дѣйствуютъ по направленію прямой линіи на встрѣчу другъ другу, то очевидно, что взаимное дѣйствіе ихъ уничтожится и на точку *i* будутъ собственно дѣйствовать только силы *io* и *im*. По этому равнодѣйствующая двухъ параллельныхъ силъ, приложенныхъ къ точкамъ *a* и *b*, будетъ равна суммѣ силъ *io* и *im* и, что все одно и тоже, суммѣ обѣихъ параллельныхъ силъ *p* и *q*. Изъ этого слѣдуетъ, что если двѣ параллельныя силы дѣйствуютъ

Фиг. 70.

по одному направленію на двѣ неизмѣнно соединенныя между собою точки, то равнодѣйствующая ихъ будетъ равна суммѣ обѣихъ составляющихъ силъ и будетъ слѣдовать по одному параллельному направленію съ послѣдними. Намъ остается теперь опредѣлить точку, чрезъ которую направленіе равнодѣйствующей пересѣкаетъ линію, соединяющую неизмѣнныя точки приложенія силъ. Точка эта можетъ быть найдена посредствомъ слѣдующаго разсужденія.

Фиг. 71.



Положимъ, что равнодѣйствующая данныхъ параллельныхъ силъ p и q (фиг. 71) опредѣлена только что выведеннымъ способомъ. Треугольники iar и aeg подобны между собою точно такъ, какъ и треугольники irb и bfh. Изъ подобія первыхъ треугольниковъ мы имѣемъ пропорцію $ir : ra = eg : ea$, а изъ вторыхъ $ir : rb = fh : bg$; какъ $ea = bf$, то изъ обѣихъ пропорцій получимъ $ra : rb = fg : eg$ или вслѣдствіе равенства $fh = bd = q$ и $eg = ac = p$ $ra : rb = p : q$, т. е. что *равнодѣйствующая раздѣляетъ разстояніе между двумя точками приложенія a и b на двѣ части обратно пропорціональныя величинѣ составляющихъ силъ.*

Понятно, что если силы будутъ равны, то равнодѣйствующая раздѣлитъ разстояніе между ними пополамъ.

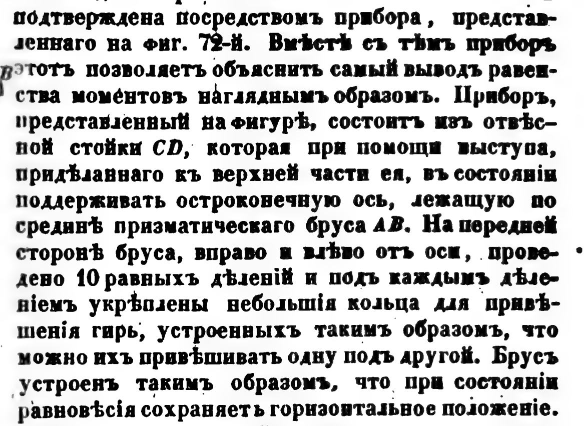
Если продолжить направленія силъ p и q и изъ точки r, провести на нихъ перпендикуляры rs и rt, то изъ подобія треугольниковъ ars и rbt получимъ пропорцію $ra : rb = rs : rt$. Изъ выведеннаго нами выше слѣдуетъ, что $ra : rb = q : p$; поэтому $rs : rt = q : p$ или $p \cdot rs = q \cdot rt$.

Если опустить изъ другой точки, напр. v, равнодѣйствующей перпендикуляры vu и vx на направленія силъ p и q, то на основаніи параллельности между послѣдними и направленіемъ равнодѣйствующей и равенствъ $sr = uv$, $rt = vx$ получимъ $p \cdot uv = q \cdot vx$, т. е. что и *при параллельныхъ силахъ дѣйствующихъ на двѣ различныя точки статическіе моменты силъ, относительно каждой точки равнодѣйствующей равны между собою.*

Изъ сказаннаго слѣдуетъ, что *двѣ силы находятся въ равновѣсіи, въ томъ случаѣ, когда статическіе моменты ихъ равны между собою.*

Справедливость выведеннаго нами для параллельныхъ силъ можетъ быть подтверждена посредствомъ прибора, представленнаго на фиг. 72-й. Вмѣстѣ съ тѣмъ приборъ этотъ позволяетъ объяснить самый выводъ равенства моментовъ нагляднымъ образомъ. Приборъ, представленный на фигурѣ, состоитъ изъ отвѣсной стойки CD, которая при помощи выступа, придѣланнаго къ верхней части ея, въ состояніи поддерживать остроконечную ось, лежащую по срединѣ призматическаго бруса AB. На передней сторонѣ бруса, вправо и влѣво отъ оси, проведено 10 равныхъ дѣленій и подъ каждымъ дѣленіемъ укрѣплены небольшія кольца для привѣшенія гирь, устроенныхъ такимъ образомъ, что можно ихъ привѣшивать одну подъ другой. Брусъ устроенъ такимъ образомъ, что при состояніи равновѣсія сохраняетъ горизонтальное положеніе.

Фиг. 72.



Если привѣсить двѣ совершенно одинаковыя гири къ двумъ точкамъ равно удаленнымъ отъ средины бруса (фиг. 73), то ихъ можно разсматривать какъ двѣ равныя параллельныя силы, приложенныя къ

Фиг. 73.



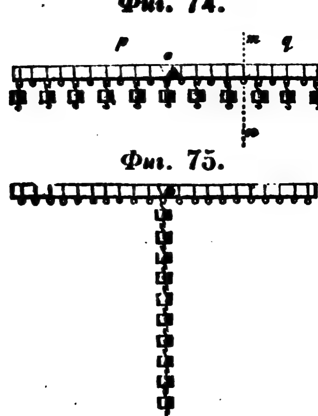


брусу. На основаніи выведеннаго нами выше, точка приложенія равнодѣйствующей этихъ силъ должна раздѣлять пополамъ линію, соединяющую точки приложенія силъ, т. е. должна проходить чрезъ средину бруса или чрезъ точку опоры его. Понятно, что въ такомъ случаѣ дѣйствіе равнодѣйствующей на брусъ будетъ уничтожаться сопротивленіемъ точки опоры и потому брусъ останется въ равновѣсіи точно также, какъ и до привѣшиванія къ нему гирь. И въ самомъ дѣлѣ, если привѣсить двѣ гири одну подъ другою противу самой средины бруса, то равнодѣйствующая гирь, обременяющихъ точку опоры, будетъ точно также уничтожаться сопротивленіемъ послѣдней и брусъ сохранитъ, какъ и въ предшествовавшемъ случаѣ, горизонтальное положеніе.

Положимъ теперь, что противу средины бруса, гдѣ находится точка опоры, привѣшена одна гиря; присоединяя къ брусу по двѣ гири, каждую въ равномъ удаленіи отъ точки опоры, мы очевидно тѣмъ нисколько не нарушимъ равновѣсія бруса. На фиг. 74-й представленъ брусъ, обремененный 11-ю, размѣщенными такимъ образомъ гирями. Равнодѣйствующая каждой пары гирь, равно удаленныхъ отъ точки опоры, будетъ уничтожаться сопротивленіемъ послѣдней. Сумма всѣхъ равнодѣйствующихъ, равная вѣсу 11-ти гирь, будетъ дѣйствовать одна на точку *o* и потому брусъ будетъ находиться въ равновѣсіи точно также, какъ и въ томъ случаѣ, когда бы 11 гирь, привѣшенныхъ другъ подъ другомъ, дѣйствовали непосредственно на точку опоры (фиг. 75).

Фиг. 74.

Фиг. 75.



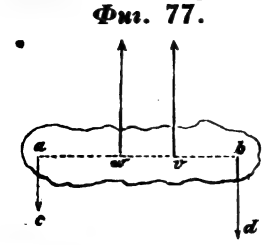
Положимъ теперь, что 11 гирь привѣшенныхъ къ брусу, представленному на фиг. 74-й, раздѣлены линіею *mn* на двѣ группы, такъ, чтобы влѣво было 8, а вправо 3 гири. 8 лѣвыхъ гирь, вслѣдствіе объясненнаго нами выше, могутъ быть перемѣщены въ точку, лежащую по срединѣ линіи, вдоль которой онѣ правильно размѣщены. Точно также и 3 правыя гири могутъ быть перемѣщены въ точку *q*. Понятно, что чрезъ подобное расположеніе гирь (фиг. 76) брусъ *AB* не измѣнитъ своего состоянія равновѣсія, что дѣйствительно и бываетъ на самомъ дѣлѣ. Слѣдовательно 3 гири, привѣшенныя къ точкѣ *q*, производятъ тоже самое дѣйствіе какъ и 8 гирь, привѣшенныхъ къ точкѣ *p*. Если обратить вниманіе на то, что на протяженіи линіи *op* находится 3 дѣленія бруса, а на линіи *oq* 8 такихъ дѣленій, то ясно, что приведенный опытъ подтверждаетъ справедливость слѣдующаго заключенія, доказаннаго выше математическимъ путемъ: равнодѣйствующая двухъ параллельныхъ силъ, приложенныхъ къ двумъ неизмѣнно соединеннымъ точкамъ равна ихъ суммѣ, параллельна имъ и проходитъ чрезъ точку, раздѣляющую разстояніе между составляющими силами на двѣ части обратно пропорціональныя величинамъ составляющихъ силъ.

Фиг. 76.

Статическіе моменты. § 50. Если во взятомъ выше примѣрѣ помножить величину каждой составляющей силы на перпендикуляръ опущенный изъ точки приложенія равнодѣйствующей (или изъ точки опоры бруса) на направленіе силы, то произведенія 8×3 и 3×8 очевидно будутъ равны. Эти произведенія изъ силъ на перпендикуляры, опущенные изъ точки опоры *o* на направленія силъ, называются, какъ мы уже говорили выше, статическими моментами силъ относительно точки *o*.

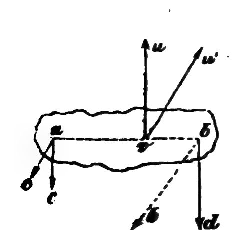
Скажемъ еще нѣсколько словъ объ значеніи статическихъ моментовъ. — Представимъ себѣ, что на двѣ неизмѣнно соединенныя точки a и b (фиг. 77) дѣйствуютъ двѣ неравныя силы ac и bd. — Примѣняя къ этимъ силамъ правило *равенства статическихъ моментовъ* мы найдемъ, что равнодѣйствующая ихъ пройдетъ чрезъ такую точку v, при которой $vb.\ bd = va.\ ac$. Поэтому, если къ v приложить силу равную суммѣ силъ ac и bd и противоположную имъ, то произойдетъ равновѣсіе силъ, т. е. не будетъ ни *поступательнаго*, ни *вращательнаго* движенія. Если же силу равную суммѣ $ac + bd$ вмѣсто точки v приложить къ какой либо другой точкѣ w, то хотя и не произойдетъ поступательнаго движенія, потому что стремленіе къ движенію будетъ одинаковое съ обѣихъ сторонъ, но тѣмъ не менѣе не будетъ и равновѣсія, потому что точка w лежитъ по направленію равнодѣйствующей силы. Слѣдовательно около точки w произойдетъ *вращательное* движеніе и тѣмъ съ бóльшею силою чѣмъ произведеніе $wb.\ bd$ болѣе $wa.\ ac$. Значеніе статическихъ моментовъ.

Фиг. 77.



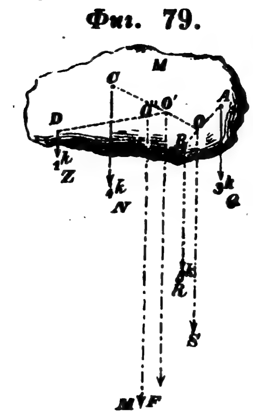
§ 51 Обратимъ теперь вниманіе на точку приложенія равнодѣйствующихъ силъ. — Положимъ, что *сила vu равная равнодѣйствующей* двухъ силъ ac и bd (фиг. 78) приложена къ точкѣ v притомъ условіи, когда $vb.\ bd = va.\ ac$ и направленіе силы vu противоположно направленію равнодѣйствующей. — Въ этомъ случаѣ очевидно не будетъ происходить ни вращельнаго, ни поступательнаго движенія. Если измѣнимъ теперь направленія силъ bd и ac такъ чтобы при новомъ положеніи онѣ были опять параллельны между собою, то для сохраненія равновѣсія необходимо, чтобы тоже самое измѣненіе произошло и въ направленіи равнодѣйствующей. Слѣдовательно если составляющія силы постоянно сохраняя параллельное положеніе между собою будутъ вращаться около своихъ точекъ приложенія, то и равнодѣйствующая ихъ будетъ производить тоже самое вращеніе около той же неизмѣнной точки приложенія своего v. — По этому опредѣливъ точку v и приложивъ къ ней силу равную составляющимъ нѣтъ никакой надобности обращать вниманіе на послѣднія. На этомъ основаніи при движеніи тѣла мы должны обращать вниманіе на движеніе той точки въ которой сосредоточена сумма параллельныхъ силъ дѣйствующихъ на тѣло. — Эта точка называется *центромъ параллельныхъ силъ*. — Центръ параллельныхъ силъ.

Фиг. 78.



§ 52. Мы можемъ найти равнодѣйствующую нѣсколькихъ параллельныхъ силъ, точно такъ и при силахъ дѣйствующихъ на одну точку (V). — Положимъ что на точки A, B, C и D тѣла M дѣйствуютъ че- Сложен. нѣскол. параллельныхъ силъ.

Фиг. 79.



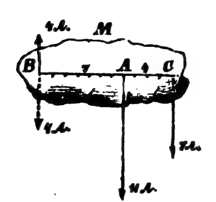
тыре параллельныя силы (фиг. 79). Для опредѣленія общей равнодѣйствующей стоитъ только найти сперва равнодѣйствующую двухъ параллельныхъ силъ приложенныхъ къ *A* и *B*, потомъ опредѣлить равно дѣйствующую между найденной силой *S* и одной изъ остальныхъ силъ и продолжать это до тѣхъ поръ пока не сведемъ всѣхъ данныхъсилъ въ одну равнодѣйствующую *F*.

Разложеніе параллельсилъ

§ 53. Точно также не трудно и разложить данную силу на двѣ другія параллельныя силы, если указаны величина и разстояніе одной изъ составляющихъ силъ отъ точки приложенія разлагаемой силы. Вопросъ опредѣлится и въ томъ случаѣ, когда будутъ указаны разстоянія, въ которыхъ должны находиться искомыя силы отъ данной.

Если на тѣло *M* (фиг. 80) дѣйствуютъ двѣ параллельныя силы,

Фиг. 80.



обращенныя въ противныя стороны, одна 11 лотовъ, приложенная къ *A*, другая 4 лот. приложенная къ *B*, то мы найдемъ ихъ равнодѣйствующую слѣдующимъ образомъ. — Большую изъ силъ 11 *л.* мы можемъ представить себѣ разложенною на двѣ силы — одну въ 4 лота приложенную къ *B* и другую въ 7 *л.*, приложенную къ точкѣ *C*, положеніе которой легко опредѣлить: для этого должно линіи *A B* раздѣлить на 7 частей и на продолженіи этой линіи отложить 4 такія части. Въ этомъ случаѣ: $4\ л. \times 7 = 4 \times 7\ л.$ — Замѣнивъ такимъ образомъ силу въ 11 *л.* двумя составляющими силами мы будемъ имѣть въ точкѣ *B* двѣ равныя и противоположныя силы въ 4 *л.* Такъ какъ дѣйствіе этихъ двухъ силъ будетъ взаимно уничтожаться, то останется только одна сила въ 7 *л.*, приложенная къ точкѣ *C*. Очевидно что послѣдняя сила и будетъ равнодѣйствующею двухъ данныхъ силъ.

Слѣдовательно для полученія равнодѣйствующей двухъ параллельныхъ силъ *направленныхъ въ противныя стороны* должно *вычесть* одну силу изъ другой и провести эту равнодѣйствующую изъ соотвѣтственной точки приложенія по одному направленію съ большей силой. —

Пара силъ.

§ 54. Если на тѣло дѣйствуютъ двѣ параллельныя и равныя силы по противоположнымъ направленіямъ, то на основаніи предъидущаго равнодѣйствующая ихъ будетъ равна нулю.

Значитъ между подобной системой силъ не можетъ существовать равновѣсія въ одинаковомъ смыслѣ какъ для неравныхъ параллельныхъ

Фиг. 81.

силъ.—Взамѣнъ этого равновѣсія равныя и противоположныя параллельныя силы приложенныя къ какому нибудь тѣлу будетъ производить вращеніе его (фиг. 81) Одинъ изъ обыкновенныхъ примѣровъ подобнаго вращенія представляетъ намъ палка въ томъ случаѣ, когда за оба конца ея тянутъ съ одинаковою силою въ противоположныя стороны.

Двѣ равныя параллельныя силы, направленныя въ противоположныя стороны называются *парою*.

—

Дѣйствіе силы на тѣло, движущееся по инерціи.

Различные случаи дѣйствія силъ на тѣло, движущееся по инерціи.

§ 55. Мы говорили о взаимномъ дѣйствіи силъ, производящихъ или равномѣрныя или равноускоренныя движенія, но очевидно, что сила можетъ дѣйствовать также на тѣло движущееся по инерціи, такъ напр. сообщивъ толчекъ тѣлу и заставивъ его чрезъ то двигаться равномѣрно съ извѣстною скоростію, мы можемъ при началѣ или во время самаго движенія подвергнуть его дѣйствію силы. При такомъ дѣйствіи силъ могутъ встрѣтиться два главные случая: *направленія силы могутъ находиться на одной прямой линіи, или пересѣкаться съ направленемъ, по которому совершается путь тѣла двигающагося по инерціи*.

Дѣйствіе силы по линіи, совпадающей съ направленіемъ движенія

§ 56. Разсмотримъ сперва первой случай. Если линіи движенія совпадаютъ съ направленіемъ дѣйствія силы, то нѣтъ никакой причины допустить, чтобы дѣйствіе силы могло уклонить тѣло отъ того *прямолинейнаго* пути, который сохраняется имъ по инерціи. Что же касается до скорости двигающагося тѣла, то она можетъ или ускоряться, или замедляться, судя потому дѣйствуютъ ли сила въ одну сторону съ направленіемъ движенія или по противоположному направленію.

Скорость, пріобрѣтенную при этомъ тѣломъ въ извѣстное время t, мы можемъ опредѣлить легко, зная скорость сохраняемую тѣломъ по инерціи и величину ускоренія, принимаемаго имъ въ каждую секунду отъ вліянія непрерывной силы. Если a есть скорость равномѣрнаго движенія, а g величина ускоренія въ одну секунду, то очевидно, что по прошествіи извѣстнаго числа секундъ напр. t, скорость равномѣрнаго движенія останется неизмѣнною, а скорость движенія отъ дѣйствія непрерывной силы будетъ gt. Слѣдовательно общая скорость при дѣйствіи обѣихъ силъ въ одну сторону $a+gt$, а при дѣйствіи по противоположнымъ направленіямъ $a-gt$.

Точно также можно опредѣлить и пространства, пройденныя тѣломъ. Положимъ, что вслѣдствіе движенія по инерціи тѣло проходитъ пространство at § 31), а отъ непрерывной силы $\frac{1}{2}gt^2$ (§ 35.) Величина же общаго пространства для обоихъ случаевъ выразится формулой $c=at\pm\frac{1}{2}gt^2$.

Дѣйствіе силы по линіи пересѣкающей направленіе движенія.

§ 57. Направленіе силы можетъ, какъ мы уже сказали, пересѣкаться съ направленіемъ движенія по инерціи. Но при этомъ бываютъ два главные случая: направленіе силы или могутъ оставаться во все продолженіе движенія *параллельными* первоначальному направленію, *или могутъ измѣняться* въ каждый моментъ движенія.

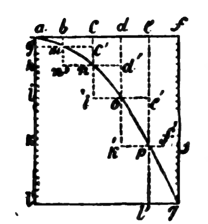
Параболическое движеніе.

§ 58. Разсмотримъ сперва первый случай, когда направленія силы остаются *параллельными во все время движенія*.

При этомъ условіи направленіе дѣйствія силы можетъ пересѣкаться съ направленіемъ движенія по инерціи или подъ прямымъ, или подъ произвольнымъ угломъ.

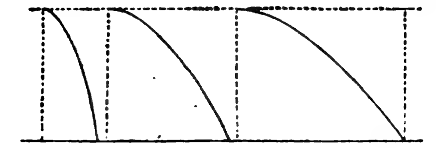
Положимъ, что тѣлу a (фиг. 82) сообщенъ толчекъ по направленію af перпендикулярному къ теченію рѣки, которое будетъ намъ представлять въ этомъ случаѣ рядъ силъ, дѣйствующихъ непрерывно по направленіямъ ихъ параллельнымъ къ линіи al. Если мы допустимъ, что вещество воды не оказываетъ на тѣло сопротивленія, то вслѣдствіе сообщеннаго толчка тѣло a будетъ стремиться двигаться равномѣрно т. е. въ равныя времена проходить равныя пространства ab, bc, cd, de и ef. При сдѣланномъ нами условіи тѣло проходило бы дѣйствительно эти разстоянія по линіи af, если бы въ тоже самое время не дѣйствовала на него непрерывная сила, которая заставляетъ тѣло въ каждую послѣдующую частицу времени проходить постоянно увеличивающіяся пространства ag, gh, hi, ik и kl, величины которыхъ для каждой единицы времени мы можемъ легко вывести изъ общихъ законовъ непрерывнаго дѣйствія силы, если только будемъ знать величину дѣйствія силы въ единицу времени. При самомъ началѣ движенія, вслѣдствіе дѣйствія верженія, тѣло будетъ стремиться въ первую частицу времени пройти линію ab, но какъ въ тоже самое время непрерывная сила заставляетъ его пройти извѣстный путь ag, то очевидно, что тѣло въ концѣ первой секунды будетъ находиться на оконечности діагонали am параллелограма $abgm$, построеннаго на линіяхъ, изъ которыхъ одна ag выражаетъ направленіе и величину силы а другая ab направленіе движенія и величину скорости по инерціи. Достигнувъ точки m, во вторую частицу времени, тѣло будетъ стремиться произвести два движенія: *одно равномѣрное*, вслѣдствіе дѣйствія верженія по линіи mc' параллельной и равной bc, выражающей величину скорости по инерціи и *другое равноускоренное* отъ непрерывнаго дѣйствія силы теченія, заставляющей тѣло въ тоже время пройти путь mn' равный gh и отвѣсный къ mc'; величину этого

Фиг. 82.



пути *mn'* относительно *ag* легко опредѣлить по извѣстнымъ уже намъ законамъ равноускореннаго движенія. Слѣдовательно по окончаніи второй частицы времени тѣло будетъ находиться на оконечности діагонали *mn*, точно также какъ по окончаніи третьей секунды оно будетъ находиться на оконечности діагонали *no*, и т. д. По соединеніи всѣхъ этихъ различныхъ точекъ *a*, *m*, *n*, *o*, *p* и *q*, въ которыхъ будетъ находиться тѣло по прошествіи слѣдующихъ другъ за другомъ частицъ времени, мы получимъ ломаную линію *amnopq*, выражающую цѣлый путь движенія тѣла *a*. Но если бы мы взяли за единицу безконечно малое время, то очевидно, что оконечности діагоналей находились бы тогда на безконечно маломъ разстояніи между собою, и мы бы могли принять безъ погрѣшности ломаную линію *amnopq*, соединяющую эти точки за *кривую*. Кривая линія эта, происходящая отъ непрерывнаго рода параллельныхъ дѣйствій силы на тѣло, движущееся по инерціи, называется *параболой*. Форма этой линіи будетъ зависѣть отъ той начальной скорости, съ которою было брошено тѣло по направленію отвѣсному къ непрерывной силѣ. Фиг. 83, 84 и 85 и представляютъ параболы, описанныя тѣлами, которыя были брошены со скоростями, относящимися между собою какъ числа 1, 2, и 3.

Фиг. 83, 84 и 85.



Положимъ, что *AB* (фиг. 86) представляетъ параболу описанную тѣломъ, которое было брошено изъ точки *A* по направленію стрѣлки перпендикулярно къ направленію непрерывнодѣйствующей силы. Если въ каждой точкѣ пути разлагать силу, приводящую тѣло въ движеніе, на двѣ составляющія, то найдемъ, что составляющая, дѣйствующая по направленію стрѣлки *f*, будетъ оставаться неизмѣнною и что только другая составляющая будетъ увеличиваться пропорціонально времени движенія, такъ что по достиженіи точки *B* тѣло будетъ имѣть скорость, состоящую изъ составленія скорости полученной при началѣ движенія и тѣхъ скоростей, которыя сообщалъ ему рядъ непрерывныхъ дѣйствій силы во все продолженіе движенія.

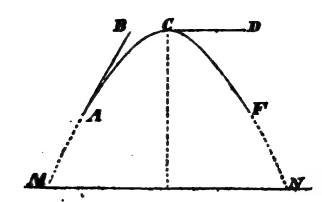
Фиг. 86.

Положимъ, что тѣло изъ точки *B* было брошено, какъ показываетъ нижняя стрѣлка, въ противную сторону къ первоначальному его движенію со скоростію, пріобрѣтенною имъ по достиженіи этой точки. Разлагая по прежнему въ каждой точкѣ пути силу, двигающую тѣло, на двѣ составляющія—на дѣйствующую въ одну сторону съ непрерывной силой и на другую перпендикулярную къ ней, мы увидимъ въ этомъ случаѣ, что сила дѣйствующая непрерывно будетъ уменьшать послѣдовательно скорость, пріобрѣтенную тѣломъ вслѣдствіе верженія; точно также какъ она увеличивала скорость его при движеніи по направленію верхней стрѣлки. Что же касается до скорости сохраняемой тѣ-

ломъ по инерціи вслѣдствіе верженія, то она будетъ оставаться неизмѣнною всвсе продолженіе движенія. Это показываетъ намъ, что тѣло будетъ принимать послѣдовательно, но *въ обратномъ порядкѣ* скорости равныя и противоположныя тѣмъ, которыя оно имѣло въ предшествовавшемъ случаѣ. Значитъ, при восхожденіи своемъ тѣло будетъ итти по тому же самому пути, по которому оно нисходило т. е. опишетъ ту же параболу *AB*, восходя отъ *B* къ *A*. Достигнувъ точки *A*, тѣло будетъ обладать очевидно тою же скоростію, съ которою оно было брошено изъ этой же точки въ предшествовавшемъ случаѣ и будетъ стремиться двигаться съ этою скоростію по направленію перпендикулярному къ дѣйствію непрерывной силы.

Разсмотрѣніе обоихъ этихъ случаевъ даетъ намъ возможность опредѣлить движеніе тѣла брошеннаго не перпендикулярно, но *наклонно* къ дѣйствію непрерывной силы напр. по направленію *AB* (фиг. 87) Тѣло это опишетъ сперва восходящую дугу *AC* параболы, потомъ достигнувъ точки *C*, гдѣ движеніе его будетъ направляться перпендикулярно къ дѣйствію силы, тѣло будетъ находиться при тѣхъ же условіяхъ какъ и въ томъ случаѣ, когда бы тѣло было брошено изъ этой точки по направленію *CD* т. е. оно пройдетъ новую дугу *CF* параболы. Обѣ дуги *AC* и *CF* имѣютъ симметрическое расположеніе относительно линіи, проведенной отъ точки поворота *C* параллельно къ дѣйствію непрерывной силы; путь *ACF* составляетъ только часть полной и безконечной параболы *MCN*. И въ самомъ дѣлѣ если мы допустимъ, что тѣло было брошено наклонно къ теченію воды, продолжающемуся на безконечно большое разстояніе, то понятно, что вторая часть параболы *CF* должна будетъ продолжаться какже на безконечно большое разстояніе.

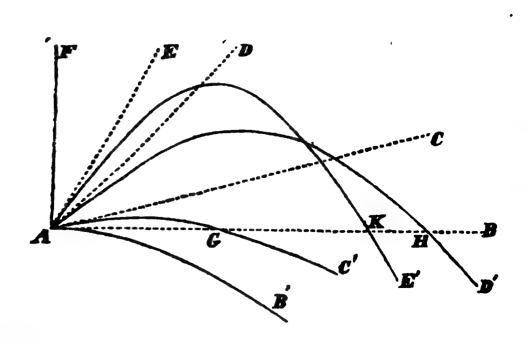
Фиг. 87.



Если же мы, ни при одномъ движеніи, совершающемся на землѣ, не можемъ получить полной и безконечной параболы, а получаемъ только часть или вѣтвь ея, то причиною тому служатъ препятствія прекращающія дѣйствія непрерывной силы. Въ выбранномъ нами примѣрѣ мы предположили, что частицы тѣла, въ которомъ происходитъ движеніе, не оказываютъ никакого вліянія на двигающееся тѣло. Но на самомъ дѣлѣ мы встрѣчаемъ противное и потому кривая линія, означающая путь движенія, всегда получается въ измѣненномъ видѣ

Фигура параболы, описываемой тѣломъ, брошеннымъ перпендикулярно къ дѣйствію непрерывной силы, зависитъ какъ отъ скорости, такъ и отъ направленія движенія сообщеннаго тѣлу верженіемъ. Если при одной скорости измѣнится только направленіе т. е. если

Фиг. 88.



положимъ, что тѣло брошено одной и той же силой послѣдовательно по направленіямъ AB, AC, AD, AE (фиг. 88), то оно опишетъ различныя параболы AB' AC', AD', AE' первая изъ этихъ параболъ начнетъ свое искривленіе непосредственно подъ линіею AB, перпендикулярною къ направленію непрерывнаго дѣйствія силы AF, между тѣмъ какъ другія параболы, послѣ большаго или меньшаго поднятія надъ линіею AB встрѣчаютъ ее снова въ точкахъ G, H, K, удаленныхъ на различныя разстоянія отъ точки A. Каждое изъ разстояній AG, AH, AK называются *амплитудой* соотвѣтственной дуги. Амплитуда эта измѣняется съ измѣненіемъ начальной скорости сообщенной двигающемуся тѣлу. Болѣе точное изслѣдованіе этого вопроса показываетъ, что если направленіе начальной скорости дѣлаетъ небольшой уголъ ABC (фиг. 88) съ линіею AB, то мы получимъ малую амплитуду, но по мѣрѣ восхожденія этого направленія отъ AE къ AF амплитуда будетъ увеличиваться до тѣхъ поръ, пока направленіе начальной скорости не будетъ составлять съ линіею AB уголъ DAB въ 45^0; при дальнѣйшемъ же приближеніи направленія начальной скорости къ линіи AF амплитуды дугъ начнутъ уменьшатся и наконецъ сдѣлаются равными нулю въ томъ случаѣ, когда направленіе сообщенное верженіемъ пойдетъ по линіи AF т. е. противоположно дѣйствію непрерывной силы. Слѣдовательно, чтобы при равной скорости доставляемой верженіемъ амплитуда дуги достигла наибольшей величины, необходимо бросить тѣло подъ угломъ въ 45^0 къ направленію непрерывной силы. Сверхъ того нетрудно замѣтить при ближайшемъ изслѣдованіи, что наибольшая AH амплитуда равна половинѣ линіи AF, до которой бы достигло тѣло брошенное съ тою же скоростію по направленію противоположному дѣйствію непрерывной силы.

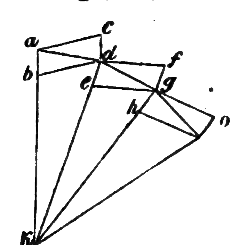
Въ разсмотрѣнномъ нами движеніи направленія, по которымъ сила въ каждый моментъ времени дѣйствовала на тѣло, движущееся по инерціи, были постоянно *параллельны* другъ другу и перпендикулярны къ направленіямъ движенія сохраняемаго по инерціи; измѣнялось только одно отношеніе между скоростію движенія по инерціи и скоростію доставляемою дѣйствіемъ силы, напряженіе которой въ каждую послѣдующую частицу времени постепенно увеличивалось или уменьшалось, смотря потому происходило ли движеніе по инерціи въ одномъ или въ противоположномъ направленіи съ дѣйствіемъ непрерывной силы.

Центральное движеніе.

§ 59. Но кромѣ измѣненія скоростей, происходящаго вслѣдствіе непрерывнаго дѣйствія силы послѣдняя можетъ также измѣнять свое направленіе относительно первоначальнаго дѣйствія, переставая сохранять для каждой частицы времени параллельность своего направленія.

Положимъ напр., что на тѣло *a* (фиг. 89) двигающееся равномѣрно по линіи *ac*, при самомъ началѣ движенія по инерціи дѣйствуетъ *непрерывная* сила, направленіе которой *ак*, *перпендикулярно* къ линіи *ac*. Если въ продолженіи первой секунды тѣло должно пройти вслѣдствіе инерціи путь *ac*, а вслѣдствіе дѣйствія силы путь *ab*, то очевидно что по окончаніи этой секунды оно будетъ находиться на оконечности діагонали *ad* параллелограма построеннаго на этихъ линіяхъ. Если бы въ въ слѣдующую секунду сила не измѣняла своего дѣйствія, то тѣло, повинуясь только одному закону инерціи, продолжало бы двигаться по продолженію линіи *ad* и прошло бы путь *df* равный этой линіи. Положимъ теперь, что по принятіи тѣломъ направленія *df* при самомъ началѣ второй секунды непрерывная сила, дѣйствовавшая по линіи *ab*, измѣнила свое направленіе и начала дѣйствовать по линіи *dk* перпендикулярно къ *df*. Если при этомъ напряженіе непрерывной силы остается по прежнему неизмѣннымъ т. е. (*ed*=*ab*) то на основаніи предыдущаго легко доказать, что по прошествіи второй текунды тѣло будетъ находиться на оконечности діагонали *dg* параллелограма, построеннаго на линіяхъ *df* и *ed*, изъ которыхъ первая выражаетъ скорость движенія по инерціи, а вторая скорость сообщенною силой. Если послѣ того сила *dk* при началѣ третьей секунды измѣнитъ снова направленіе своего дѣйствія и начнетъ дѣйствовать по направленію *gk* перпендикулярному къ *go* т. е. къ той линіи, по которой тѣло побуждается двигаться вслѣдствіе инерціи, то по окончаніи третьей секунды тѣло будетъ находиться на оконечности діагонали параллелограма построеннаго на линіяхъ *go* и *gh*, выражающихъ какъ величины скорости такъ и направленія движенія тѣла въ томъ случаѣ, когда бы тѣло покорялось отдѣльно закону инерціи и дѣйствію силы.—Если подобное измѣненіе направленій между движеніемъ по инерціи и дѣйствіемъ силы на тѣло будетъ продолжаться въ каждую секунду, то при дальнѣйшемъ слѣдованіи своемъ тѣло будетъ описывать рядъ діагоналей до тѣхъ поръ пока не прекратится дѣйствіе силы. Мы принимали при этомъ что сила измѣняетъ свое направленіе въ каждую секунду, но если измѣненіе направленій ея совершается по прошествіи *безконечно малыхъ частицъ времени*, какъ это дѣйствительно должно происходить при непрерывномъ дѣйствіи силы *a*, то линіи *ad*, *dg* и др. при безконечно малой величинѣ своей будутъ составлять между собою весьма тупые углы. Очевидно, что при этихъ условіяхъ непрерывное слѣдованіе ихъ мы можемъ безъ погрѣшности принять за общую *кривую линію*, всѣ точки которой находится въ одной плоскости,

Фиг. 89.



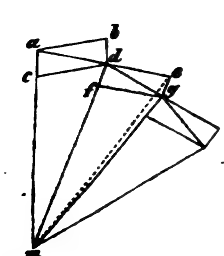
означенной направленіемъ движенія по инерціи и направленіемъ силы, дѣйствовавшей на тѣло.

Если путь, совершаемый тѣломъ, составляетъ замкнутую кривую линію, то движеніе тѣла называется *центральнымъ*. Точка, изъ которой дѣйствуетъ на тѣло непрерывная сила, измѣняющая постоянно свое направленіе, именуется *центромъ движенія*. Линія, проведенная отъ центра къ произвольной точкѣ пути движущагося тѣла, называется *радіусомъ векторомъ*. Непрерывная сила, дѣйствующая по направленію радіуса вектора называется *центростремительной силой*. Центростремительная сила.

§ 60. Представимъ себѣ, что линія, названная нами радіусомъ векторомъ, слѣдуетъ за тѣломъ, совершающимъ центральное движеніе, подобно нити, которая связываетъ тѣло съ центромъ движенія и можетъ въ тоже самое время удлиняться и укорачиваться по мѣрѣ измѣненія разстоянія между тѣломъ и центромъ движенія. Очевидно, что радіусъ векторъ будетъ *описывать* въ этомъ случаѣ *площадь*, покрываемую имъ во время слѣдованія за движущимся тѣломъ. Законъ сохраненія площадей.

При каждомъ центральномъ движеніи площади, описанныя радіусомъ векторомъ, относятся между собою какъ времена, употребленныя тѣломъ на прохожденіе соотвѣтственныхъ имъ частей пути. Изъ предыдущаго параграфа мы знаемъ, что ad (фиг. 90) равно de; проведя изъ точки e линію em получимъ треугольникъ mde площадь котораго равна площади треугольника adm, потому что оба эти треугольника имѣютъ равныя высоты и основанія. Но площадь треугольника mde равна также площади треугольника gdm, потому что треугольники эти лежатъ между двумя параллельными линіями на одномъ и томъ же основаніи dm. Слѣдовательно площадь треугольника adm и dgm также равны между собою. Точно также можно доказать и равенство площадей слѣдующихъ треугольниковъ и т. д. или, говоря другими словами, что всѣ *площади* треугольниковъ, *описанныя въ равныя и безконечно малыя частицы времени радіусами векторами равны между собою.*

Фиг. 90.



Но такъ какъ и большія площади, заключающіяся между двумя радіусами векторами и дугою движенія, содержатъ въ себѣ столько равныхъ частей поверхности, сколько было употреблено тѣломъ частей времени на описаніе дугъ, то очевидно, что и эти большія площади должны относиться между собою какъ времена, употребленныя на описаніе соотвѣтственныхъ имъ дугъ.

Это показываетъ намъ, что *равномѣрность центральнаго движенія заключается* не въ равенствѣ путей, но *въ равенствѣ площадей, описываемыхъ соотвѣтственными радіусами векторами*. Это основное свойство центральнаго движенія называется *закономъ сохраненія площадей*.

Выведенный нами законъ имѣетъ весьма важное значеніе при опредѣленіи самаго рода движенія. Такъ напр. если предоставленное са-

мому себѣ тѣло производитъ такое движеніе, что линія, проведенная къ тѣлу отъ одной какой нибудь точки, описываетъ площади пропорціональныя временамъ, то очевидно, что тѣло описываетъ центральное движеніе и что должна быть *непрерывная сила*, которая постоянно притягиваетъ тѣло къ *центральной точкѣ* по направленію соотвѣтственныхъ радіусовъ векторовъ.

Фиг. 91.

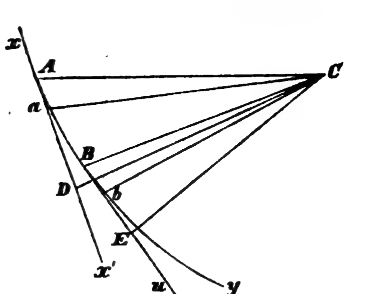
Положимъ, что *AB* (фиг. 91) представляетъ часть пути, описываемую тѣломъ въ безконечно малую частицу времени. — Если бы на тѣло не дѣйствовала посторонняя сила, то по достиженіи точки *B* оно описало бы въ слѣдующую безконечно малую частицу времени на продолженіи линіи *AB* равную ей часть *BD*. — Но если на тѣло дѣйствуетъ притягательная сила, то въ слѣдующую частицу времени оно должно двинуться къ какой нибудь другой точкѣ *E*. — Когда *BF* представляетъ напряженіе этой притягательной силы, дѣйствующей на тѣло во время нахожденія его въ точкѣ B, то можно принять, что въ продолженіи безконечно малой частицы времени направленіе это остается параллельнымъ самому себѣ. Но если *C* представляетъ постоянную точку, вокругъ которой радіусъ векторъ *CB* описываетъ площади пропорціональныя временамъ, то треугольники *ABC* и *BCE*, пройденные въ двѣ равныя частицы времени, должны быть равны между собою, точно также какъ и треугольники *ABC* и *BCD*, имѣющіе равныя основанія *AB* и *BD* и общую вершину въ точкѣ *C*. — По этому и треугольники *BCD* и *BCE* также равны. Такъ какъ послѣдніе треугольники имѣютъ общее основаніе *CB*, то очевидно, что прямая *DE*, соединяющая вершины ихъ, должна быть параллельна основанію. Изъ этого слѣдуетъ, что линія *BF* параллельная къ *DE*, должна совпадать съ линіей *BC*. — Слѣдовательно въ каждой точкѣ *B* пути направленіе *BF* притягательной силы должно совпадать съ направленіемъ соотвѣтственнаго радіуса вектора.

Законъ скоростей. **§ 61. Посмотримъ теперь въ какомъ отношеніи находятся между собою скорости тѣла въ различныхъ точкахъ пути описываемаго имъ при центральномъ движеніи.**

Выводъ этого отношенія не можетъ быть сдѣланъ безъ помощи небольшаго вычисленія, которое мы приводимъ здѣсь для знакомыхъ съ математикою.

Положимъ, что движущееся по инерціи тѣло вслѣдствіе дѣйствія силы описываетъ криволинейный путь *xy* (фиг. 92) и допустимъ, что въ безконечно малую частицу времени *t* оно проходитъ двѣ дуги *Aa* и *Bb* одну со скоростію *c*, и другую со скоростію *c'*. — Такъ какъ движенія эти по сдѣланному нами предположенію совершаются въ безконечно малое время, то мы можемъ допустить, что на каждой изъ выбранныхъ дугъ происходитъ равномѣрное движеніе. На этомъ основаніи будемъ имѣть $Aa = ct$ и $Bb = c't$ (§ 3), откуда $Aa : Bb = c : c'$. Если центръ движенія *C* соединить съ точками *A*, *a*, *B* и *b*, то получимъ треугольники *ACa* и *BCb*, площади которыхъ будутъ пройдены радіусами векторами въ равныя времена. Очевидно, что при этомъ условіи треугольники *ACa* и *BCb* должны быть равны между собою. — Опустимъ изъ центра движенія *C* перпендикуляры *CD* и *CE* на касательныя *Ax'* и *Bu*. — Площадь каждаго изъ треугольниковъ *ACa* и *CBb* будетъ, на осно-

Фиг. 92.



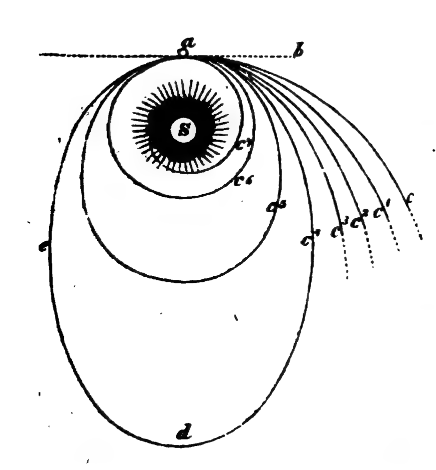
ванія извѣстнаго геометрическаго правила, равна половинѣ высоты помноженной на основаніе т. е. $ACa = Aa\ \frac{1}{2}\ CD$ и $BCb = Bb.\ \frac{1}{2}\ CE$, а какъ $ACa = BCb$, то $Aa.\ \frac{1}{2}\ CD = Bb.\ \frac{1}{2}\ CE$ или $Aa : BD = CE : CD$. Если сравнить послѣднюю пропорцію съ выведенною нами выше $Aa : Bb := c : c'$, то получимъ $c : c' = CE : CD$.—

Приведенное нами вычисленіе показываетъ, что *скорости тѣла въ различныхъ точкахъ пути*, совершаемаго имъ при центральномъ движеніи, *находятся въ обратномъ отношеніи къ перпендикулярамъ опущеннымъ изъ центра движенія на касательныя, проведенныя къ этимъ точкамъ*.

§ 62. Зная законы центральнаго движенія, перейдемъ теперь къ объясненію различія *вида кривыхъ линій*, описываемыхъ вслѣдствіе дѣйствія силы на тѣла движущіяся по инерціи. Виды кривыхъ линій.

Положимъ, что тѣло *a* (фиг. 93) въ извѣстный моментъ получило толчекъ по направленію *ab* и что въ тоже самое мгновеніе на него начинаетъ дѣйствовать непрерывная сила *Sa* изъ точки *S*. Если скорость, сообщаемая толчкомъ, гораздо сильнѣе скорости, сообщенной непрерывной силы, то произойдетъ только незначительное искривленіе пути; тѣло получитъ направленіе *c* и при дальнѣйшемъ движеніи своемъ въ пространствѣ будетъ постоянно удаляться отъ точки S и никогда не возвратится къ *a*. Чѣмъ менѣе будетъ скорость сообщенная толчкомъ относительно скорости доставляемой непрерывной силой, тѣмъ болѣе будетъ искривляться путь тѣла, которое при постоянномъ уменьшеніи силы верженія пойдетъ по линіямъ c_1, c_2, c_3. Наконецъ, при дальнѣйшемъ ослабленіи скорости доставляемой толчкомъ, скорость сообщаемая непрерывной силой можетъ получить перевѣсъ, такъ что тѣло не въ состояніи будетъ уже освободиться отъ вліянія послѣдней скорости, которая заставитъ тѣло описать замкнутый путь c_4. При переходѣ отъ несмыкающихся линій къ замкнутой послѣдняя бываетъ весьма растянута, но растянутость ея постепенно уменьшается по мѣрѣ уменьшенія скорости доставляемой толчкомъ, такъ что наконецъ движеніе тѣла будетъ совершаться по кругу c_6. При дальнѣйшемъ уменьшеніи скорости, доставляемой толчкомъ, тѣло можетъ притти въ положеніе c_7 и будетъ постепенно приближаться къ S по спирали до тѣхъ поръ пока наконецъ не достигнетъ до точки, изъ которой дѣйствуетъ непрерывная сила.

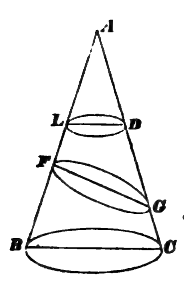
Фиг. 93.



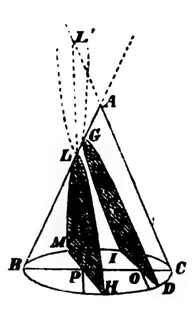
Ближайшее изслѣдованіе отношеній между скоростями доставляемыми вержущей и центростремительной силой показываетъ, что бо́льшей части этихъ отношеній соотвѣтствуютъ особеннаго вида кривыя линіи, получаемыя отъ сѣченія конуса.

Коническія сѣченія происходятъ отъ разрѣза конуса плоскостями по различнымъ направленіямъ.—На фиг. 94 представленъ конусъ *ABC*, у котораго *A* есть вершина, а *BC* круговое основаніе.—Если разрѣзать конусъ плоскостію параллельною основанію, то въ сѣченіи получится *кругъ LD*. Если разрѣзать конусъ въ наклонномъ направленіи *FG* такимъ образомъ, чтобы разрѣзъ проходилъ чрезъ обѣ стороны конуса книзу отъ вершины, то въ сѣченіи получится *эллипсъ*. Разрѣзъ по направленію *GD*, (ф. 95) параллельному одной изъ сторонъ конуса даетъ въ сѣченіи *параболу DGJ*, продолженная плоскость которой очевидно никогда не встрѣтится съ параллельной къ ней стороной. —

Фиг. 94.



Фиг. 95.



Наконецъ если мы сдѣлаемъ въ наклонномъ положеніи къ обѣимъ сторонамъ разрѣзъ *LP*, который на продолженіи своемъ за *L* встрѣчаетъ другой конусъ построенный на продолженіи боковъ *AB* и *AC* и обращенный основаніемъ кверху, то сѣченіе произведенное этимъ наклоннымъ разрѣзомъ *LP*, даетъ кривую линію, состоящую изъ двухъ частей и называемую *гиперболою*.

Разсмотримъ сперва движеніе по кругу.

Движеніе по кругу.

§ 63. Если тѣло двигается по *кругу* (фиг. 96), въ центрѣ котораго находится дѣйствующая на него сила, то очевидно что отвѣсныя линіи между центромъ и касательными проведенными ко всѣмъ точкамъ пути выразятся радіусами круга. — Такъ какъ отвѣсныя линіи между касательными и центромъ движенія обратно пропорціональны скоростямъ движенія (§ 61) и какъ въ настоящемъ случаѣ, разстоянія эти, выражаемыя радіусами круга, равны между собою, то очевидно и скорость тѣла, двигающагося по кругу, должна быть равномѣрна во всѣхъ точкахъ пути.— А это возможно только въ томъ случаѣ, когда въ каждой точкѣ пути между обѣими скоростями обусловливающими криволинейное движеніе, будетъ существовать тоже отношеніе какъ и въ началѣ движенія. При этомъ условіи пространства проходимыя радіусами векторами въ равныя времена, очевидно будутъ равны между собою. —

Фиг. 96.

a b c d

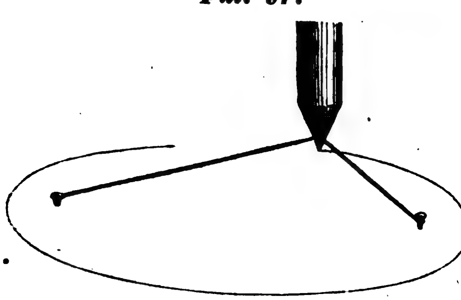
Изъ сдѣланнаго нами разсмотрѣнія круговаго движенія слѣдуетъ, что главнѣйшее условіе его заключается въ сохраненіи постоянно равнаго отношенія между скоростію по инерціи и скоростію доставляемою силой во все продолженіе движенія, потому что въ этомъ только случаѣ всѣ радіусы векторы могутъ быть перпендикулярны къ слѣду движенія.—

Движеніе по эллипсу.

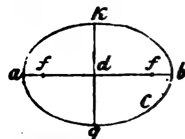
§ 64. Съ нарушеніемъ этого условія линія, описываемая движущимся тѣломъ, перестаетъ быть кругомъ и образуетъ различные виды, описанныхъ нами коническихъ сѣченій. Изъ этихъ линій мы разсмотримъ только *эллипсъ*, какъ линію представляющую найбольшую важность для насъ, потому что по этой линіи происходитъ движеніе земли и другихъ планетъ вокругъ солнца. — Прежде объясненія движенія тѣла по *эллипсу* мы считаемъ не лишнимъ дать краткое понятіе какъ о происхожденіи этой линіи, такъ и о главнѣйшихъ элементахъ ея. —

На произвольной плоскости напримѣръ на листѣ бумагѣ укрѣпляютъ два небольшіе гвоздика (фиг. 97), къ корымъ прикрѣплены концы нитки, имѣющей бо́льшую длину противу разстоянія между ними. Потомъ прикладываютъ къ ниткѣ противу средины ея карандашъ и ведутъ въ одну сторону по бумагѣ заостреннымъ концемъ его. При постоянномъ натягиваніи нити карандашъ описываетъ путь, направленіе котораго обусловливается различнымъ положеніемъ нити во время движенія карандаша. Вслѣдствіе такого движенія получается замкнутая кривая линія, называемая *эллипсомъ*. При самомъ черченіи этой линіи нетрудно замѣтить, что если нить будетъ находиться въ направленіи проходящемъ чрезъ постоянныя точки, обозначаемыя гвоздями, то части нити отъ гвоздей до карандаша будутъ состоять изъ разстоянія между гвоздями и удвоеннаго разстоянія между карандашемъ и ближайшимъ къ нему гвоздемъ. Такъ какъ это удвоеніе частей нити повторяется въ обѣ стороны отъ обоихъ гвоздей, то ясно, что разстояніе между точками кривой по линіи направленія гвоздей должно равняться длинѣ нити. Разстояніе это представленное на фиг. 98 линіею *ab*, называется *большою осью*, а постоянныя точки *f* и *f'* — *фокусами эллипса*. Середина линіи *ab* называется центромъ эллипса, а линія *kg*, проведенная отъ центра отвѣсно къ *ab* до пересѣченія съ эллипсомъ, именуется *малою осью* его.

Фиг. 97.



Фиг. 98.

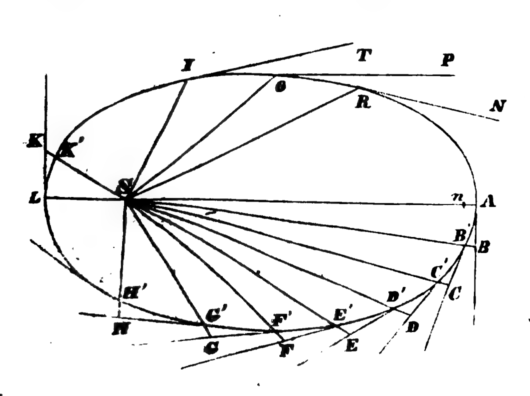


Если отъ фокусовъ провести къ одной какой либо тѣчкѣ эллипса двѣ линіи напр. *fi'* и *f'i'* или *fi* и *f'i*; (фиг. 99), представляющія части нити въ то время, когда карандашъ находился въ точкахъ *i* и *i'*, то обѣ послѣднія линіи, взятыя вмѣстѣ, какъ мы уже сказали, должны быть равны большой оси. Двѣ такія линіи, такъ сказать дополняющія другъ друга, называются *радіусами векторами* и число ихъ въ эллипсѣ очевидно можетъ быть безконечно велико. Разстояніе каждаго фокуса отъ центра эллипса называется *эксцентриситетомъ* его. Понятно, что чѣмъ менѣе эксцентриситетъ, тѣмъ болѣе эллипсъ долженъ подходить къ кругу.

Фиг. 99.

Положимъ, что тѣло A (фиг. 100) по прекращеніи дѣйствія верженія получило стремленіе двигаться по направленію *AB* перпендикулярному къ линіи A*S*, по которой дѣйствуетъ на него изъ точки *S* центростремительная сила при самомъ началѣ движенія по инерціи.—Если линія *AB* выражаетъ скорость сообщенную верженіемъ въ единицу времени, а *An* скорость доставляемую центростремительной силой и если при томъ A*n* болѣе *SB*—*S*A то точка *B'*, до которой достигнетъ тѣло по окончаніи единицы времени будетъ лежать ближе къ *S* нежели точка A.—Во вторую единицу времени тѣло направилось бы по

Фиг. 100.



касательной *BC*, если бы не дѣйствовала на него сила, которая заставляетъ его уклониться къ точкѣ *C′*. Такъ какъ сдѣланное нами въ началѣ предположеніе на счетъ отношенія между скоростями доставляемыми вержущей и центростремительной силой, остается неизмѣннымъ и при дальнѣйшемъ продолженіи движенія, то очевидно, что точка *C′* будетъ лежать къ *S* ближе нежели точка *B′*, а слѣдовательно и линія *CC′* будетъ болѣе линіи *BB′*. Точно также *D′* будетъ лежать ближе къ *S′* нежели *C′* и линія *DD′* будетъ опять болѣе противу *CC′* и т. д. Ближайшее изслѣдованіе этого движенія показываетъ, что при увеличеніи дѣйствія центростремительной силы линія *B′C* должна быть болѣе A*B* и линія *C′D* болѣе *B′C*. — А какъ въ настоящемъ случаѣ при постоянномъ измѣненіи разстоянія между тѣломъ и центромъ движенія линія, по которой движется тѣло, не круговая, то очевидно, что касательныя проведенныя къ различнымъ точкамъ ея, не могутъ быть перпендикулярны къ направленію радіусовъ векторовъ. Углы *BCC′* и *C′DD′*..., лежащіе противу дугъ *B′C′*, *C′D′*, въ настоящемъ случаѣ будутъ тупые.

Изъ геометріи же извѣстно, что противу тупаго угла въ треугольникѣ всегда лежитъ наибольшая сторона. Слѣдовательно, принимая эти треугольники за прямолинейные, получимъ, что дуги какъ лежащіе противъ тупыхъ угловъ будутъ болѣе соотвѣтственныхъ имъ касательныхъ.

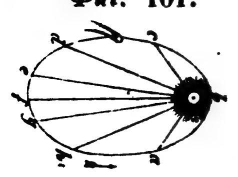
Очевидно, что при этомъ условіи для описанія въ одинаковое время этихъ постепенно увеличивающихся дугъ тѣло должно двигаться съ *постепенно возрастающеюся скоростію*, въ чемъ можно убѣдиться также изъ постепеннаго уменьшенія перпендикуляровъ, проведенныхъ отъ точки *S* къ направленіямъ движенія. (§ 61).—Увеличеніе общей скорости движенія будетъ продолжаться до тѣхъ поръ, пока уголъ образуемый касательными съ радіусами векторами будетъ тупой. Но при этомъ слѣдуетъ ожидать, что отъ постояннаго увеличенія скоростей тѣло должно наконецъ притти въ такое положеніе, при которомъ обѣ скорости будутъ находиться въ равновѣсіи. Дѣйствительно вблизи какой нибудь точки напр. *H* скорости *G′H* и *HH′* должны находиться въ такомъ отношеніи между собою, что еслибы направленіе касательной было отвѣсно къ радіусу вектору, то, начиная съ этого мѣста, движеніе тѣла превратилось бы въ круговое. Но косвенное направленіе движенія къ направленію дѣйствія непрерывной силы служитъ причиною, что уменьшеніе разстояній отъ F, а слѣдовательно и увеличеніе общей скорости движенія еще не достигаетъ здѣсь своего предѣла. Обнаруживаемый же тутъ перевѣсъ скорости по направленію касательной служитъ только для скорѣйшаго приведенія косвеннаго направленія движенія въ отвѣсное къ радіусу вектору. Условіе это достигается по вступленіи тѣла въ точку *L*, лежащую на прямой линіи съ точками *S* и A.

Но по достиженіи этой точки скорость пріобрѣтаемая по касательной, получаетъ надъ скоростію доставляемой центростремительной силой значительный перевѣсъ вслѣдствіе котораго тѣло начинаетъ удаляться отъ центра движенія. При дальнѣйшемъ движеніи отъ *L* къ A касательныя уже острыеуглы съ радіусами векторами. Самые же дуги, описываемыя въ этомъ случаѣ тѣломъ въ равныя времена, будутъ образовать уже менѣе соотвѣтственныхъ имъ касательныхъ. Однимъ словомъ движеніе тѣла будетъ замедляться точно также какъ оно ускорялось на пути отъ точки A къ *L*.

Пройденный такимъ образомъ путь будетъ представлять около линіи A*L* сомкнутую кривую линію, которая какъ показываетъ строгое вычисленіе, есть *эллипсъ*.

Изъ сдѣланнаго нами разсмотренія движенія по эллипсу очевидно, что наибольшею скоростію тѣло будетъ обладать въ точкѣ *L* ближайшей къ центру движенія, а наименьшею скоростію въ точкѣ A, наиболѣе удаленной отъ центра движенія. Первая изъ этихъ точекъ называется *апогеемъ*, а вторая—*перигеемъ*. Между же этими точками въ одной половинѣ эллипса движеніе будетъ постепенно ускоряемое а въ другой постепенно укосняемое; среднюю скорость тѣло будетъ имѣть на срединѣ пути между перигеемъ и апогеемъ на обѣихъ оконечностяхъ малой оси.

Но и въ этомъ случаѣ законъ сохраненія площадей остается неизмѣннымъ.



Фиг. 101.

Площади, проходимыя радіусами векторами во времена употребляемыя тѣломъ на прохожденіе соотвѣтственныхъ дугъ, будутъ равны между собою.— Это значитъ, что тѣло во время движенія своего будетъ описывать въ равныя времена дуги *mc*, *ed*, *de*, *ef*, *fg*, *gh*, *ha*, и *abc*, (фиг. 101), которыя по соединеніи своемъ съ центромъ движенія раздѣлятъ площадь эллипса на равныя части. При этомъ только условіи дуга *abc* можетъ быть описана тѣломъ въ одно и тоже время съ дугами *ef* и *fg*.

Отношенія между временами обращеній.

§ 65. Время, употребленное тѣломъ на прохожденіе своего пути центральнымъ движеніемъ, называется *временемъ обращенія*. — Время это очевидно должно быть тѣмъ короче, чѣмъ болѣе скорость двигающагося тѣла, а при одной скорости тѣмъ продолжительнѣе, чѣмъ значительнѣе самый путь. Поэтому времена обращенія различныхъ тѣлъ, совершающихъ центральное движеніе, содержатся между соборю какъ прямыя отношенія величинъ путей и обратныя отношенія скоростей.

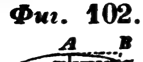
Цѣлое время обращенія тѣла относится ко времени, употребляемому имъ на прохожденіе извѣстной дуги, какъ площадь цѣлаго движенія къ площади угловаго пространства, образуемаго линіями проведенными отъ центра движенія къ оконечностямъ сравниваемой дуги.—Величина этого угловаго пространства называется *угловою скоростію*.

Для легчайшаго и удобнѣйшаго изслѣдованія каждаго замкнутаго центральнаго движенія переводятъ его въ такое круговое движеніе, которое совершается въ одно съ нимъ время, все различіе между сравненными такимъ образомъ движеніями будетъ заключаться очевидно только въ томъ. что при послѣднемъ движеніи тѣло будетъ имѣть равномѣрную скорость, которая равна средней скорости между наибольшею и наименьшею скоростями дѣйствительнаго движенія.—

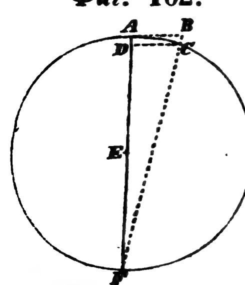
Для путей центральнаго движенія, переведенныхъ въ круги, времена обращенія будутъ находиться въ прямомъ отношеніи среднихъ разстояній и въ обратномъ отношеніи скоростей. Слѣдовательно скорости должны быть прямо пропорціональны временамъ обращенія.

Величина центростремительной силы.

§ 66. Такъ какъ всякое центральное движеніе можетъ быть переведено въ круговое, то мы и опредѣлимъ величину центростремительной силы при круговомъ движеніи. Представимъ себѣ, что тѣло, совершающее круговое движеніе, проходитъ въ равныя времена одинаковыя дуги.



Фиг. 102.



Если бы въ одной изъ точекъ пути напримѣръ въ *A* (фиг. 102) тѣло подчинилось бы только одному дѣйствію центростремительной силы, то очевидно, что послѣдняя заставила бы его двигаться къ центру движенія. При этомъ условіи тѣло во время равное описанію дуги *AB* прошло бы линію *AD*, выражающую разстояніе между дугою *AC* и перпендикуляромъ опущенномъ изъ точки *C* на радіусъ *AE*. — Величину этой линіи, опредѣляющей напряженіе центростремительной силы мы можемъ легко найти, принявъ дугу *AC* за прямую линію, что конечно можно сдѣлать безъ значительной погрѣшности въ томъ случаѣ, когда выбранная нами дуга будетъ представлять собою безконечно малую часть круга. Въ прямоугольномъ треугольникѣ *ACF* линія *DC* представляетъ перпендикуляръ опущенный на гипотенузу съ вершины прямаго угла. На основаніи извѣстнаго геометрическаго предложенія *DC* будетъ средняя пропорціональная между *AD* и *AF*; слѣдовательно $DC^2 = AD \times AF$ откуда *AD* или величина центростремительной силы въ извѣстную единицу времени равна $\frac{DC^2}{AF}$. — Такъ какъ линія *AF* равна двумъ радіусамъ $(2r)$, то мы можемъ вывести заключеніе, что *величина*

центростремительной силы въ извѣстную единицу времени *равна квадрату пройденной дуги, раздѣленному на удвоенное разстояніе дуги отъ центра движенія.*

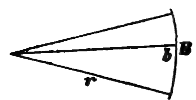
Различныя отношенія между центростремительными силами.

§ 67. Положимъ, что два тѣла совершаютъ съ одинаковою скоростію обращеніе по различнымъ круговымъ путямъ, изъ которыхъ разстояніе одного пути отъ центра равно R, а другаго r (фиг. 103). Назовемъ дуги, проходимыя ими въ равныя времена, чрезъ B и b. Величины центростремительныхъ силъ F и f' для каждаго движенія на основаніи предыдущаго могутъ быть выражены уравненіями $F=\frac{B^2}{2R}$ и $f=\frac{b^2}{2r}$.—

Фиг. 103.

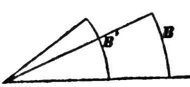
Изъ этихъ равенствъ мы можемъ составить слѣдующую пропорцію $F:f=\frac{B^2}{2R}:\frac{b^2}{2r}=2B^2r:2b^2R$. Изъ геометріи извѣстно, что дуги, имѣющія одинаковую угловую величину, относятся между собою какъ радіусы $B:b=R:r$ или $bR=Br$. — Преобразовывая пропорцію $F:f=2B^2r:2b^2R$ въ слѣдующую $F:f=B^2r:b\times b.R$ и подставляя вмѣсто $b.R$ равную ему величину, получимъ $F:f=B^2r:b\times R.r$ По сокращеніи на Br будемъ имѣть $F:f=B:b$, но $B:b=B:r$ слѣдовательно $F:f=R:r$ т. е. *центростремительныя силы для двухъ тѣлъ,* употребляющихъ равныя времена на прохожденіе различныхъ круговыхъ линій, *относятся между собою* какъ самыя дуги или *какъ растоянія этихъ дугъ отъ центровъ движенія.*

Фиг. 104.



Возмемъ теперь два тѣла, проходящія равныя круговыя линіи съ различными скоростями.—Если F и f означаютъ величины центростремительныхъ силъ, B и b дуги (фиг. 104), которыхъ разстоянія отъ центра равны r то $F:f=\frac{B^2}{2r}:\frac{b^2}{2r}=B^2:b^2$. Такъ какъ скорости V и v относятся между собою какъ пройденныя пространства ($V:v=B:b$ или $U^2:v^2=B^2:b^2$), то $F:f=V^2:v^2$.—Очевидно. что времена движенія T и t будутъ обратно пропорціональны скоростямъ. Слѣдовательно $F:f=t^2:T^2$.—т. е. что *центростремительныя силы,* при дѣйствіи на два тѣла, движущіяся по круговымъ линіямъ равныхъ радіусовъ съ различными скоростями, *находятся между собою въ прямомъ отношеніи квадратовъ скоростей и въ обратномъ отношеніи квадратовъ временъ, употреблённыхъ на прохожденіе своихъ путей.*

Фиг. 105.



Возмемъ теперь два тѣла движущіеся съ равными скоростями по различныхъ путямъ обращенія (фиг. 105), слѣдственно въ различныхъ разстояніяхъ отъ центровъ движеній. Очевидно, что тѣла эти будутъ совершать обращеніе свое въ разныя времена. Для опредѣленія отношеній между временами положимъ, что B и B′ предстявляютъ дуги, R и r разстоянія ихъ отъ центра, а F и f величины соотвѣтственныхъ центростремительныхъ силъ. На основаніи сказаннаго нами выше мы можемъ составить слѣдующую пропорцію.

$F:f=\frac{B^2}{2R}:\frac{B'^2}{2r}$, такъ какъ по сдѣланному нами предпололоженію $B=B'$, то $F:f=r:R$. т. е. *центромительныя* силы при дѣйствіи на два тѣла, движущіяся съ равными скоростями по различной величины круговымъ линіямъ, *находятся между собою въ обратномъ отношеніи разстояній ихъ отъ центра.*— Возмемъ теперь вмѣсто F и f равныя имъ величины $\left(F\ \frac{B^2}{2R}\text{ и } f=\frac{B'^2}{2r}\right)$ и примемъ для дугъ B и B′ соотвѣтственныя имъ значенія въ кругѣ $\frac{2\pi R}{T}$ и $\frac{2\pi r}{t}$.— Возвышая ихъ въ квадратъ и подставляя вмѣсто B и B′ въ уравненія $F=\frac{B^2}{2R}$ и $f=\frac{B^2}{2r}$ получимъ $F=\frac{4\pi^2R^2}{T^2.2R}=\frac{2\pi^2R}{T^2}$ и $f=\frac{2\pi^2r}{t^2}$. Составляя на основа-

ваніи этихъ равенствъ пропорцію, получимъ $F : f = \frac{2\pi^2 R}{T^2} : \frac{2\pi^2 r}{t^2}$ или $F : f = \frac{R}{T^2} : \frac{r}{t^2}$ т. е. что *центростремительныя силы содержатся между собою какъ разстоянія отъ центровъ движенія, раздѣленныя на квадраты временъ употребленныхъ на прохожденіе своихъ путей.*

Зная чему равна величина центростремительныхъ силъ относительно скоростей и разстоянія, можно опредѣлить законъ, которому слѣдуетъ измѣненіе центростремительной силы по мѣрѣ удаленія ея отъ центра движенія.

Съ помощію астрономическихъ наблюденій найдено, что квадраты временъ обращенія небесныхъ тѣлъ вокругъ солнца относятся между собою какъ кубы ихъ разстояній т. е. $T^2 : t^2 = R^3 : r^3$.—Опредѣлимъ изъ этой пропорціи одинъ какой либо членъ напр. $R^3 = \frac{T^2 r^3}{t^2}$. Раздѣливъ обѣ части этого уравненія на $R^2 T^2$, получимъ $\frac{R}{T^2} = \frac{r^3}{R^2 t^2}$.—Подставляя въ выведенной выше пропорціи $F : = \frac{R}{T^2} : \frac{r}{t^2}$ вмѣсто R равную ему величину, получимъ $F : f = \frac{r^3}{R^2 t^2} : \frac{r}{t^2}$. Умноживъ послѣднее отношеніе на t^2 и раздѣливъ на r получимъ $F : f = r^2 : R^2$ т. е. что *центростремительныя силы находятся въ обратномъ отношеніи квадратовъ разстояній.*

Мы разсматривали отношеніе центростремительныхъ силъ для одного и того же тѣла при различныхъ условіяхъ движенія. — Но если центростремительныя силы дѣйствуютъ на тѣла *неодинаковыхъ массъ*, то очевидно, что для произведенія одного и того же дѣйствія необходимо, чтобы *на большую массу дѣйствовала и большая центростремительная сила.*

Какъ напряженіе силы измѣняется вмѣстѣ съ измѣненіемъ разстоянія, то при дѣйствіи силы на неравныя массы разстоянія должны быть обратно пропорціональны массамъ для того, чтобы дѣйствіе произведенное силою на обѣ массы было одно и тоже. —

§ 68. Изъ самаго понятія, составленнаго нами о центростремительной силѣ, слѣдуетъ, что она постоянно стремится притягивать двигающееся тѣло къ центру движенія. Но какъ *при всякомъ дѣйствіи обнаруживается равное и противоположное противодѣйствіе* (§ 40), то очевидно, что двигающееся по кругу тѣло будетъ постоянно оказывать на неподвижный центръ движенія давленіе равное и обратное тому, которое тѣло испытываетъ само со стороны центростремительной силы.—Если тѣло, совершающее круговое движеніе, прикрѣплено къ нити, заставляющей его постоянно находиться въ равномъ удаленіи отъ неподвижнаго центра движенія, то оно будетъ оказывать на послѣдній давленіе равное и противоположное силѣ, которая связываетъ частицы нити съ центромъ движенія. Центробѣжная сила.

Эту силу равную и противоположную центростремительной силѣ, называютъ *центробѣжною.*

Подобнымъ понятіемъ о центробѣжной силѣ, основаннымъ на законѣ равенства между дѣйствіемъ и противодѣйствіемъ, мы обязаны новой школѣ французскихъ математиковъ.

Прежде представляли центробѣжную силу въ видѣ постояннаго *усилія*, съ которымъ тѣло стремится удаляться отъ центра по касательной къ круговому движенію.— Этого усилія не можетъ существовать на самомъ дѣлѣ, потому что если бы въ какой либо точкѣ напримѣръ *M* (фиг. 106) прекратилось бы дѣйствіе центростремительной силы, то начиная отъ этой точки тѣло будетъ двигаться только вслѣдствіе одной инерціи по касательной *MT* или по продолженію безконечно малой линіи *BM*, описанной передъ самымъ прекращеніемъ дѣйствія силы. Понятно, что для этого тѣлу не должно употреблять никакого усилія

Фиг. 106.

Напротивъ того сила *MX* (фиг. 107), дѣйствующая изъ центра движенія, должна постоянно оказывать усиліе для того, чтобы въ каждое мгновеніе отклонять движущееся тѣло отъ касательной и заставлять его двигаться по кругу. Вслѣдствіе этого постояннаго давленія *MX*, оказываемаго центростремительной силой образуется равное ему противодѣйствіе *MP*, которое стремится притягивать центръ движенія къ окружности. — Если тѣло двигающееся по кругу соединено нитею съ неподвижнымъ центромъ движенія, то при этомъ нить натягивается двумя равными силами — центростремительной и центробѣжной — дѣйствующими по противоположнымъ направленіямъ.

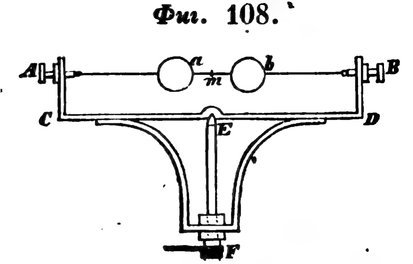
Фиг. 107.

Такъ какъ мы показали, что при центральномъ движеніи центробѣжная сила равна и противоположна центростремительной силѣ, то очевидно, что законы выведенные нами для послѣдней должны быть одинаковы и для первой.

Повѣрка законовъ центробѣжной силы.

Законы, по которымъ совершается дѣйствіе центробѣжной силы, могутъ быть повѣрены на такъ называемой *центробѣжной машинѣ*, имѣющей различное устройство. —

Мы опишемъ здѣсь только обыкновенные опыты, производимые на машинѣ самаго простаго устройства.—Приборъ этотъ (фиг. 108), состоящій изъ загнутой металлической линейки *ACBD*, насаживается на вертикальную ось, приводимую во вращательное движеніе посредствомъ быстраго развертыванія веревки намотанной на колесо обхватывающее ось *F*.



Фиг. 108.

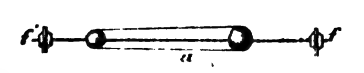
Загнутыя кверху выступы линейки соединены между собою тонкой металлической проволокой, а при недостаткѣ проволоки простой ниткой. На проволоку надѣваются просверленные шары слоновой кости, помѣщаемые рядомъ противу оси. Вскорѣ послѣ вращенія оси шары начинаютъ расходиться къ краямъ линейки и ударяютъ

одновременно объ загибы ея въ томъ случаѣ когда массы ихъ равны.— Мы получимъ тоже явленіе, если расположимъ шары не противъ самой оси, но на равномъ разстояніи вдали отъ нея.

Но если и при равныхъ разстояніяхъ массы шаровъ различны, то большій шаръ будетъ обладать бо́льшей центробѣжной силой и потому сдвинется съ своего мѣста прежде меньшаго шара. Наконецъ, если при равныхъ массахъ разстоянія ихъ отъ оси вращенія неравны, то наибольшую скорость пріобрѣтетъ наиболѣе удаленный отъ оси шаръ, который и начнетъ свое движеніе прежде ближайшаго шара. —

Опыты эти показываютъ, что центробѣжная сила подобно центростремительной возрастаетъ пропорціонально массамъ и разстояніямъ отъ центра движенія.—

Фиг. 109.

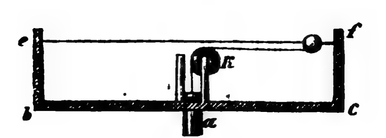


Если связать оба неравные шара ниткою (фиг. 109), то шаръ, имѣющій большую массу, повлечетъ за собою меньшій, что конечно можетъ произойти въ томъ случаѣ, когда центробѣжная сила его болѣе центробѣжной силы меньшаго шара.

Если оба привязанные другъ ко другу шара расположены такимъ образомъ, что центробѣжная сила у обоихъ одинакова, то очевидно, что они не будутъ въ состояніи удаляться отъ оси вращенія.—Это равновѣсіе произойдетъ въ томъ случаѣ, когда разстоянія обоихъ шаровъ отъ средины проволоки обратно пропорціональны ихъ массамъ. Если бо́льшій шаръ въ 2, 3, 4 раза плотнѣе меньшаго, то послѣдній долженъ быть удаленъ въ 2, 3, 4, раза далѣе отъ оси вращенія противу большаго шара. —

Чтобы доказать, что центробѣжная сила при другихъ одинаковыхъ обстоятельствахъ находится въ обратномъ отношеніи къ квадратамъ временъ обращенія (§ 67) т. е. при удвоенномъ, утроенномъ, учетверенномъ времени обращенія величина центробѣжной силы вырастаетъ въ 4, 9 и 16 разъ) употребляютъ приборъ представленный на фиг. 110. Къ шару изъ слоновой кости свободно двигающемуся на металлической проволокѣ *e f*, прикрѣпляется струна, проходящая чрезъ часть окружности колеса *k* и снабженная на нижнемъ концѣ своемъ гирею *a*. Гиря эта виситъ между четырьмя столбиками, непозволяющими ей во время поднятія и опусканія выходитъ изъ отвѣснаго положенія. Она состоитъ изъ металлической пластинки со стержнемъ, къ которому привязанъ снуръ. На эту пластинку могутъ быть накладываемы другія пластинки, изъ которыхъ вѣсъ каждой равенъ вѣсу нижней пластинки со стержнемъ. Какъ только ось прибора начнетъ вращаться, шаръ получаетъ стремленіе удаляться отъ центра къ *f*, при по-

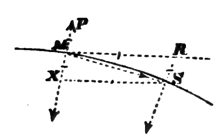
Фиг. 110.



степенно усиливающемся вращеніи центробѣжная сила шара находится въ равновѣсіи съ гирею, сохраняющею висячее положеніе. При дальнѣйшемъ увеличеніи центробѣжной силы шаръ ударяетъ о загибъ линейки, а при уменьшеніи — гиря опускается книзу. Если при извѣстной скорости вращенія центробѣжная сила поддерживаетъ пластинку со стержнемъ въ извѣстномъ висячемъ положеніи и если при этомъ шаръ не достигаетъ до загиба линейки, то при удвоенной скорости вращенія можетъ быть удерживаема въ томъ самомъ висячемъ положеніи въ четыре раза бóльшая гиря, такъ что въ этомъ случаѣ должно положить на пластинку три равныя ей части по вѣсу.

Примѣненія центробѣжной силы. Законами дѣйствія центробѣжной силы объясняются какъ многія явленія общежитія, такъ и устройство различныхъ приборовъ. Если вертѣть вокругъ себя нитку съ камнемъ, привязаннымъ къ одному концу ея, то вслѣдствіе центробѣжной силы нитка будетъ постоянно натянута во все время вращенія и при увеличеніи скорости вращенія центробѣжная сила можетъ быть до того увеличена, что нитка разорвется. Въ моментъ разрыва прекращается дѣйствіе силы *MX* (фиг. 109) притягивающей камень къ центру движенія. Понятно, что предоставленнный самому себѣ камень вслѣдствіе инерціи устремится по продолженію той безконечно малой части круговой линіи, которую онъ описывалъ передъ самымъ моментомъ разрыва слѣдовательно будетъ двигаться перпендикулярно къ направленію нити въ моментъ разрыва.—Лошадь, бѣгающая по кругу въ манежѣ, нагибаетъ верхнюю часть своего тѣла къ центру круга, для воспрепятствованія паденію, которому подвергаетъ ее центробѣжная сила, дѣйствующая по направленію радіуса круга. Наклоненіе бываетъ тѣмъ менѣе, чѣмъ менѣе радіусъ круга и на оборотъ.—Это наклоненіе принимаютъ какъ лошадь такъ и ѣздокъ при всѣхъ круговыхъ поворотахъ, въ особенности если скорость движенія значительна.

Фиг. 111.



Точно также бѣгающіе на конькахъ наклоняются при всѣхъ круговыхъ поворотахъ на льду. При поворотахъ телегъ всегда образуется центробѣжная сила, стремящаяся опрокинуть телегу и по этому каждый поворотъ долженъ совершаться по дугѣ по возможности большаго радіуса съ самою незначительною скоростію. На этомъ основаніи на желѣзныхъ дорогахъ повороты должны быть какъ можно тупѣе, потому что въ противномъ случаѣ при быстромъ движеніи вагоны могли бы соскочить съ рельсовъ.

Если твердое тѣло обращается на оси какъ напр. мельничный камень или колесо, то для каждой частицы образуется центробѣжная сила, вслѣдствіе которой всѣ онѣ стремятся удалиться отъ оси и тѣмъ сильнѣе, чѣмъ болѣе кругъ описываемый ими, то есть чѣмъ болѣе онѣ отстоятъ отъ оси. Если обращеніе совершается съ весьма большею скоростію, то центробѣжная сила можетъ даже побѣдить сцѣпленіе между частицами болѣе удаленными отъ оси и тѣло можетъ разорваться на куски, которые будутъ при этомъ разлетаться въ стороны. По этому косяки колесъ должны быть прочно соединены между собою и крѣпко обтянуты шинами.—Если гвозди, прикрѣпляющіе шины къ косякамъ, не вдѣланы прочно въ дерево, то они могутъ быть также выброшены центробѣжной силой при обращеніи колеса. — Когда мы производимъ удары объ какой либо предметъ молоткомъ, то послѣдній описывая дуги можетъ соскочить съ рукоятки и тѣмъ скорѣе, чѣмъ болѣе его масса, чѣмъ длиннѣе рукоятка и значительнѣе размахъ.—Если во время подобнаго движенія молотка выпустить его изъ рукъ, то онъ устремится по направленію прямой линіи, которая будетъ касательною къ дугѣ размаха въ той точкѣ, въ которой молотокъ будетъ предоставленъ самому себѣ. На этомъ было основано въ прежнія времена метаніе копій и сѣкиръ противу непріятелей.—Праща древнихъ состояла изъ легкой бичевки, по срединѣ которой находился родъ очка

для помѣщенія камня; если взять бичевку за оба конца и послѣ вращенія камня отпустить одинъ конецъ бичевки, то камень не будетъ оставаться болѣе въ веревкѣ, а вылетитъ прочь. Извѣстно, что къ движущимся колесамъ пристаетъ обыкновенно грязь и песокъ, которые вскорѣ отрываются отъ колесъ по направленію касательныхъ линій къ колесу въ ту сторону, въ которую совершается движеніе колеса.

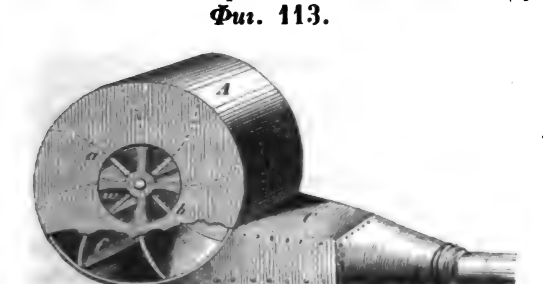
Центробѣжная сила, вращающихся тѣлъ, можетъ достигать такого напряженія, что въ состояніи преодолѣвать дѣйствіе тяжести. Примѣръ тому представляетъ стаканъ съ водою (фиг. 112). Стоитъ только обвязать его съ наружи бичевками и взявши за концы ихъ вращать быстро стаканъ въ отвѣсной площади. Мы увидимъ, что изъ стакана не прольется ни одной капли воды, что можно объяснить себѣ только дѣйствіемъ центробѣжной силы, которая оказываетъ на воду давленіе по направленію ко дну стакана и удерживаетъ ее отъ паденія даже и въ тѣ моменты когда стаканъ бываетъ повернутъ дномъ кверху.

Фиг. 112.

Центробѣжной силой пользуются въ различныхъ техническихъ производствахъ.—Мы упомянемъ здѣсь о самомъ обыкновенномъ производствѣ—дѣланіи глиняныхъ горшковъ.—Для этого кладутъ мягкую глину по срединѣ круговъ, приводимыхъ въ быстрое вращеніе на оси; во время стремленія частицъ къ удаленію отъ оси вращенія глиняная масса расширяется во всѣ стороны и принимаетъ фигуру сосудовъ, которымъ уже легко придавать произвольную форму.

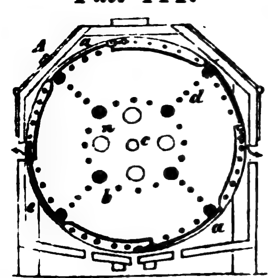
На дѣйствіи центробѣжной силы основано устройство многихъ полезныхъ машинъ—какъ напр.—*центробѣжные мѣха*. Они состоятъ изъ пустаго цилиндра (фиг. 113), на оси котораго находится валъ, снабженный нѣсколько загнутыми крыльями. Въ боковыхъ стѣнкахъ продѣланы около оси отверстія, а въ нижней части цилиндра находится трубка, которую направляютъ противу огня. При вращеніи вала приводится крыльями въ вращательное движеніе воздухъ, который вслѣдствіе центробѣжной силы устремляется въ трубку между тѣмъ какъ свѣжій воздухъ снаружи входитъ въ цилиндръ чрезъ боковыя отверстія. Если соединить послѣднія посредствомъ трубки съ мѣстомъ, въ которомъ испорченъ воздухъ, то воздухъ этотъ втягивается въ цилиндръ и оттуда выгоняется наружу.—Въ этомъ случаѣ нѣтъ надобности имѣть трубку и даже можно обойтись безъ стѣнъ цилиндра. Въ такомъ видѣ приборъ называется *вентиляторомъ*.

Фиг. 113.



Не менѣе важное примѣненіе дѣйствія центробѣжной силы представляютъ намъ *центробѣжныя сушильныя машины*. — Устройство ихъ бываетъ весьма различно и потому мы ограничимся здѣсь изслѣдованіемъ общихъ основаній ея устройства (фиг. 114). Центробѣжная сушильная машина обыкновенно состоитъ изъ большаго барабана, приводимаго въ быстрое вращательное движеніе на оси; стѣнки барабана состоятъ изъ ряда параллельныхъ прутьевъ. Внутри близъ самой оси устроена вторая такая же стѣнка изъ прутьевъ; все внутреннее пространство раздѣлено рядомъ прутьевъ на 4 отдѣла изъ которыхъ каждый снабженъ особенными дверьми.—Въ отдѣлы эти помѣщаютъ мокрую шерсть, хлопчатую бумагу, холстъ и т. подобные предметы.

Фиг. 114.

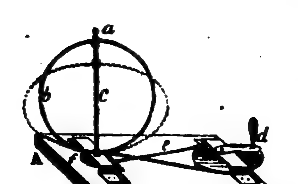


Въ кругообразныхъ боковыхъ стѣнахъ находятся близь оси четыре отверстія, постоянно доставляющія снаружи притокъ свѣжаго воздуха, который при вращеніи прибора, вслѣдствіе центробѣжной силы, проходитъ чрезъ мокрыя вещества и способствуетъ скорѣйшему высыханію ихъ.

Кромѣ того центробѣжная сила заставляетъ находящуюся въ этихъ веществахъ воду выходить изъ нихъ въ видѣ тончайшихъ капель.

Центробѣжная сила проявляется также при каждомъ *вращательномъ* движеніи тѣлъ вокругъ своей оси. Въ этомъ случаѣ всѣ частицы тѣла, за исключеніемъ лежащихъ на оси, описываютъ вокругъ нее круги и вслѣдствіе того пріобрѣтаютъ стремленіе удаляться отъ оси. Такъ какъ при этомъ вращеніи всѣ части должны совершать *одновременно* свое обращеніе вокругъ оси, то очевидно, что наиболѣе удаленныя отъ ней части должны обладать бо́льшею центростремительною силой противу частей ближайшихъ къ оси. — Это неравномѣрное дѣйствіе центробѣжной силы служитъ причиною измѣненія формы вращающагося тѣла. Чтобы убѣдиться въ томъ на опытѣ, утверждаютъ въ центрѣ горизонтальнаго круга *t* вертикальную ось *c* и надѣваютъ на нее мѣдный обручъ *b* (ф. 115). При ускоряющемся вращеніи рукоятки *d* обручъ начинаетъ постепенно растягиваться и мало по малу приходитъ въ положеніе, означенное на фигурѣ точками.

Фиг. 115.



Такъ какъ земля наша вращается также вокругъ оси, оконечности которой называются ея полюсами, то изъ предыдущаго слѣдуетъ, что точки, лежащія на экваторѣ, должны обладать бо́льшею центробѣжною силою противу точекъ находящихся близъ полюса (фиг. 116). Очевидно, что вслѣдствіе того земля подобно вращающемуся на оси обручу должна имѣть сжатую форму у полюсовъ, что и дѣйствительно подтверждается другими опытами.

Фиг 116.



Дѣйствіемъ центробѣжной силы объясняется сильное сжатіе планетъ Юпитера и Сатурна, которыя совершаютъ оборотъ на оси почти въ теченіи десяти часовъ. — Самое образованіе колецъ Сатурна приписываютъ этой же причинѣ во всей вѣроятности вслѣдствіе сильной центробѣжной силы, которою обладала прежняя атмосфера этой планеты, отъ ней отдѣлилась извѣстная часть, образовавшая эти кольца.—Точно также предполагаютъ, что всѣ главныя планеты нашей солнечной системы представляютъ собою массы, отдѣлившіяся отъ солнечной атмосферы во время вращенія ея. Этимъ объясняютъ общее направленіе вращенія планетъ отъ запада къ востоку.—Подобное явленіе можно замѣтить при дѣланіи стекла.—Если вертѣть стеклянный шарикъ въ жидкомъ видѣ вокругъ трубочки, посредствомъ которой выдуваютъ изъ стекла различныя вещи, то не трудно замѣтить вытягиваніе шарика въ плоскій кругъ. — Въ новѣйшее время Плато придалъ почти несомнѣнную достовѣрность объясненной нами ипо-

тезѣ образованія планетъ и ихъ колецъ посредствомъ вращенія капли деревяннаго масла. — При подробномъ разсмотреніи частичныхъ силъ мы будемъ имѣть случай говорить подробнѣе объ опытѣ Плато.

Представимъ себѣ кружокъ, вращающійся на оси, которая проходитъ чрезъ центръ его. — Очевидно, что каждая матеріяльная точка кружка, вслѣдствіе центробѣжной силы, стремится къ удаленію отъ оси вращенія и поэтому оказываетъ на ось извѣстное давленіе.—Такъ какъ каждой частицѣ соотвѣтствуетъ по діаметрально противоположному направленію другая частица, то очевидно что всѣ дѣйствующія такимъ образомъ центробѣжныя силы будутъ взаимно уничтожаться другъ другомъ. При этихъ условіяхъ, ось вращенія не можетъ быть подвержена одностороннему дѣйствію по одному какому нибудь направленію, но выдерживаетъ одинаковое напряженіе силъ дѣйствующихъ на нее отвѣсно со всѣхъ сторонъ; дѣйствіе силъ на ось вращающагося тѣла служитъ причиною тому, что она оказываетъ стремленіе къ неизмѣнному сохраненію своего направленія.—Во все время вращанія кружка ось вращенія его будетъ находиться въ состояніи устойчиваго равновѣсія.

Что мы говорили о вращающемся кружкѣ, то очевидно можно отнести и ко всякому тѣлу, вращающемуся на оси, если только масса его расположена симметрически вокругъ послѣдней.

Оси, находящіяся въ состояніи устойчиваго равновѣсія вслѣдствіе симметрическаго распредѣленія вращающейся вокругъ нихъ массы, называютъ *свободными осями*.

Эта устойчивость осей вращенія объясняетъ намъ явленіе представляемое вращеніемъ извѣстной игрушки волчка. — Ось вращенія волчка всегда сохраняетъ отвѣсное положеніе.—Если заставить волчокъ вертѣться на тарелкѣ, то ось вращенія его не измѣнитъ своего вертикальнаго положенія даже при наклоненіи плоскости тарелки; единственнымъ слѣдствіемъ этого наклоненія бываетъ только то, что волчекъ вращается по болѣе наклоненному мѣсту тарелки, при чемъ ось его будетъ постоянно сохранять параллельное положеніе къ направленію принятому ею при началѣ вращенія.

Что мы сказали о волчкѣ, то можно отнести и ко всякому тѣлу, вращаемуся въ пространствѣ на свободной оси. — Ось этихъ тѣлъ должна сохранять неизмѣнно свое направленіе во время поступательнаго движенія ихъ въ пространствѣ. На этомъ основаніи и ось вращенія земли сохраняетъ постоянно одно и тоже направленіе во время движенія своего вокругъ солнца — отъ чего происходятъ, какъ извѣстно, постоянные перемѣны временъ года. Справедливость закона



Фиг. 117.



сохраненія неизмѣннаго положенія оси вращенія можно видѣть на машинѣ Боненбергера, представленной на фиг. 117. Она состоитъ изъ шара a, который имѣетъ три оси, укрѣпленныя къ тремъ соединеннымъ между собою кругамъ, такимъ образомъ, что шаръ можетъ принимать произвольное движеніе такъ точно какъ будто онъ вращается свободно въ пространствѣ. — Если обмотать снурокъ вокругъ оконечности одной оси и потомъ развертываніемъ снурка доставить кругу быстрое вращательное движеніе на этой оси, то она будетъ сохранять направленіе параллельное своему первоначальному положенію при возможныхъ положеніяхъ прибора во все продолженіе вращенія круга.—Если внѣ этого круга находится масса f, заставляющая шаръ наклоняться книзу, то ось не останется уже болѣе параллельною, но наклоняется по направленію стрѣлки, проведенной близъ b т. е. въ сторону противоположную вращенію шара. — Это наклоненіе оси совершается тѣмъ медленнѣе, чѣмъ быстрѣе происходитъ вращеніе на оси. Подобное вліяніе на земную ось оказываетъ на самомъ дѣлѣ притяженіе луны.—

—

Движеніе неподвижно соединенныхъ между собою матеріальныхъ точекъ около оси вращенія.

Движеніе неподвижно соединенныхъ точекъ около оси вращенія.

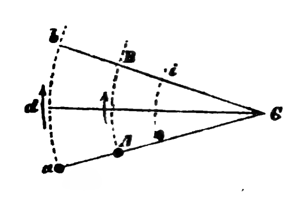
§ 69. Во всѣхъ изслѣдованіяхъ о движеніяхъ тѣлъ мы постоянно предполагали, что масса тѣла сосредоточена въ одной точкѣ; на одну только эту точку мы представляли себѣ дѣйствіе движущихъ силъ и она, въ противоположность точкѣ математической, была названа матеріальною точкою. Такъ напр при всѣхъ прямолинейныхъ движеніяхъ мы предполагали, что частицы тѣла приводятся въ движеніе по направленію, параллельному дѣйствующей силѣ, что справедливо только для того случая, когда вся масса тѣла сосредоточена въ одномъ мѣстѣ, въ точкѣ положенія силы. Тоже самое мы предполагали при изслѣдованіи криволинейнаго движенія, когда говорили о силахъ центростремительной и центробѣжной. Во всѣхъ этихъ случаяхъ общее предположеніе заключалось въ томъ, что точкою приложенія силы была именно та точка, въ которой мы представляли себѣ сосредоточенными всѣ частицы тѣла, лежащія въ немъ раздѣльно, и мы видѣли, что всѣ задачи, для которыхъ возможно

подобное предположеніе, могутъ быть разрѣшены. Поэтому въ тѣхъ случаяхъ когда нельзя примѣнить сдѣланнаго нами предположенія, надобно опредѣлить *сперва*, какова должна быть величина массы сосредоточенной въ извѣстной точкѣ, для того, чтобы масса эта могла замѣнить раздѣльно лежащія и неподвижно соединенныя между собою матеріальныя точки, и *потомъ* найти величину равнодѣйствующей приложенной къ этой точкѣ.

Съ разрѣшеніемъ этихъ вопросовъ очевидно сдѣлаются извѣстными какъ движущая сила такъ и приводимая ею въ движеніе масса, которую можно уже будетъ предположить сосредоточенною въ точкѣ приложенія силы. Но прежде разрѣшенія этихъ вопросовъ, разсмотримъ первоначально слѣдующую задачу.

Положимъ, что *Ca* (фиг. 11) представляетъ собою не имѣющій вѣса негибкій прутикъ, въ одной точкѣ котораго *C* находится ось его вращенія, а въ другой *a матеріальная точка* массы m, приводимая въ движеніе силою P, дѣйствующею равномѣрно по направленію касательной къ дугѣ, описанной радіусомъ *Ca*. Спрашивается, какова должна быть величина массы m′, приложенной къ точкѣ *o* отстоящей отъ *C* вдвое ближе нежели *a*, для того, чтобы по удаленіи массы m изъ *a*, послѣдняя точка произвела совершенно то же движеніе какъ и въ предыдущемъ случаѣ.

Фиг. 118.



Пусть *ab* представляетъ намъ путь, который совершаетъ въ секунду масса *m* во время нахожденія своего въ точкѣ *a* подъ вліяніемъ равномѣрно дѣйствующей силы P. Эта дуга *ab* по условію должна остаться неизмѣнною и въ томъ случаѣ, когда бы изъ *a* была удалена масса *m* и вмѣсто ея введена въ *o* другая масса *m′*. Очевидно, что это произойдетъ только тогда когда величина *m′* будетъ такова, что при ней точка *o* опишетъ во время одной секунды дугу *oi* равную $\frac{1}{2}$ *ab*. Только въ этомъ случаѣ величины угловыхъ движеній обѣихъ массъ будутъ равны между собою. Какова же должна быть для этого величина силы, приложенной къ *o*. Если сила *P*, приложенная къ *a*, дѣйствуетъ на нее съ моментомъ (фиг. 116) равнымъ *P*. *Ca*, то сила *x*, приложенная къ *b*, будетъ дѣйствовать на послѣднюю точку съ моментомъ *x*. *Co*. Чтобы дѣйствіе произведенное обѣими силами было одинаково, статическіе моменты ихъ должны быть равны. Слѣдовательно для произведенія одинаковыхъ угловыхъ движеній необходимо чтобы *P*. *Ca* было равно *x*. *Co*. Такъ какъ *Co* по нашему предположенію вдвое менѣе *Ca*, то *x* должно быть вдвое болѣе P и будетъ равно 2 P.—Поэтому мы должны приложить къ точкѣ *o* такую массу *m′*, которая при дѣйствіи давленія въ два раза большаго противу давленія, дѣйствовавшаго на массу *m* въ точкѣ *a*, описала бы только половину пути, совершаемаго послѣдней массой. Это будетъ въ томъ случаѣ когда *m′*=4*m*, потому что тогда при давленіи, равномъ *P* масса *m′* опишетъ дугу вчетверо меньшую противу дуги описываемой массой m, слѣдовательно при давленіи 2P, она пройдетъ ровно половину дуги совершенной массою m.

Если бы для разстоянія, равнаго трети Ca, надобно было опредѣлить массу m_2, при которой точки *a* произвела бы тоже движеніе какъ и во время присутствія въ ней массы m, подверженной дѣйствію массы P, то разсуждая подобнымъ же образомъ, какъ и въ первомъ случаѣ, дойдемъ до того заключенія, что m_2 должно быть = 9m. И въ самомъ дѣлѣ давленіе, производимое силою P на *e*, равно 3P; если оно дѣйствуетъ на массу =9m, то путь, проходимый послѣднею массою въ секунду, будетъ въ три раза менѣе противу пути, проходимаго массою m при дѣйствіи на нее одной силы P. Слѣдовательно при обоихъ условіяхъ точка *a* опишетъ дугу *ab*.

Изъ разсмотрѣнныхъ нами немногихъ случаевъ уже видѣнъ законъ опредѣленія величинъ тѣхъ массъ, которыя могутъ замѣнять массу m при различныхъ разстояніяхъ отъ оси вращенія. При разстояніи, которое въ два раза менѣе противъ разстоянія точки *a* отъ *C*, нужна масса въ четыре или въ два

раза большая, противу массы, приложенной въ a; при разстояніи, равномъ $\frac{1}{3}$ Ca, слѣдовательно въ три раза меньшемъ, чѣмъ разстоянія Ca, потребна масса въ девять или въ 3^2 раза бо́льшая. Для разстоянія, равнаго $\frac{1}{10}$ разстоянія Ca, будетъ нужно употребить въ 10^2 разъ бо́льшую массу, для того чтобы можно было ею замѣнить массу m въ a; точно такимъ же образомъ при разстояніи равномъ $\frac{1}{100}$ Ca, масса. которою можно замѣнить массу m, находящуюся въ разстояніи Ca, будетъ $100^2.m$, и т. д. Законъ этотъ можно выразить слѣдующими словами: массы, замѣняющія другъ друга при различныхъ разстояніяхъ отъ оси вращенія, должны быть обратно пропорціональны квадратамъ этихъ разстояній, для того чтобы углы, соотвѣтствующіе описаннымъ ими дугамъ, были равны между собою. Такъ напр. если разстоянія относятся какъ 1 къ 2, и слѣдовательно квадраты какъ 1 къ 4, то массы, которыя могутъ при этихъ различныхъ разстояніяхъ замѣнить одна другую, должны относиться какъ 4 къ 1; если между разстояніями существуетъ отношеніе какъ 1 къ 3, то массы будутъ относиться какъ 3^2 къ1^2. Вообще, если разстоянія относятся между собою какъ CA къ Ca (фиг. 118), и слѣдовательно ихъ квадраты какъ CA^2 къ Ca^2, то массы, замѣняющія одна другую при этихъ различныхъ разстояніяхъ, будутъ относиться какъ Ca^2 къ CA^2. Означи́въ черезъ M массу, которую должно помѣстить въ A для того чтобы можно было замѣнить бывшую въ a массу m, получимъ пропорцію$M : m = Ca^2 : CA^2$, откуда будемъ имѣть $M.\ CA^2 = m.\ Ca^2$. На основаніи этого уравненія выведенный нами законъ можно выразить слѣдующимъ образомъ: *произведенія массъ на квадраты ихъ разстояній отъ оси вращенія будутъ равны въ томъ случаѣ, когда эти массы оказываютъ одинаковое вліяніе на произведеніе круговаго движенія.*

Моментъ инерціи. Произведенія массъ на квадраты ихъ разстояній отъ оси вращенія называются *моментами инерціи* этихъ массъ. Такъ $M.\ CA^2$ есть моментъ инерціи массы M и $m.\ Ca^2$ есть моментъ инерціи массы m. если въ первомъ случаѣ разстояніе есть CA, а во второмъ Ca Употребивъ этотъ терминъ, нашъ законъ можно выразить такимъ образомъ, *массы, которыхъ моменты инерціи равны, могутъ взаимно замѣнять одна другую.* Такъ напр. если $M.\ CA^2$ равно $m.\ Ca^2$, то въ разсужденіи движенія всѣхъ точекъ линіи Ca подверженныхъ дѣйствію силы P, будетъ все равно, находится ли масса M въ точкѣ A, или масса m въ точкѣ a.

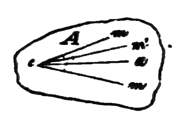
Отсюда легко видѣть, какъ должно поступать въ томъ случаѣ, когда вмѣсто произвольнаго числа матеріальныхъ точекъ, имѣющихъ извѣстную массу и лежащихъ въ извѣстномъ разстояніи отъ оси вращенія нужно опредѣлить такую массу, которая при одномъ разстояніи отъ оси могла бы замѣнить эти раздѣльно лежащія матеріальныя частицы. Это замѣненіе отдѣльныхъ точекъ одною массою произойдетъ въ томъ случаѣ, когда моментъ инерціи искомой массы равенъ суммѣ моментовъ инерціи данныхъ матеріальныхъ точекъ. Такъ напр. масса M въ разстояніи ch (фиг. 119) отъ оси вращенія c замѣнитъ массы m, m_1 m_2, и m_3, въ томъ случаѣ когда $M\,ch^2 = ca^2\,m + m_1\,cb + m_2.\,cd^2 + m_3.\,cf^2$. Когда такимъ образомъ изъ этого уравненія опредѣлится для разстоянія ch масса M, которую можно вводить въ вычисленія вмѣсто массъ отдѣльныхъ m, m_1, m_2, m^3, находящихся на разстояніяхъ ca, cb, cd, cf, то говорятъ, что эти массы приведены къ разстоянію ch.

Фиг. 119.

Способъ опредѣленія массы, замѣняющей на данномъ разстояніи отъ оси вращенія раздѣльно лежащія матеріальныя частицы, остается тѣмъ же самымъ и для общаго случая, когда матеріальныя, неподвижно одна съ другою соединенныя частицы лежатъ не на одной прямой линіи, но какъ угодно размѣщены въ пространствѣ. Моментъ инерціи искомой массы и въ этомъ случаѣ будетъ равенъ суммѣ моментовъ инерціи всѣхъ матеріальныхъ точекъ, которыя

должны быть замѣнены этою массою. Такъ напр. если c (фиг. 120) есть ось вращенія

Фиг. 120.



тѣла A, состоящаго изъ матеріальныхъ точекъ $m, m_1, m_2, \ldots$, и M масса, которая должна замѣнить на разстояніи ca отъ оси вращенія раздѣльно лежащія матеріальныя точки, то для опредѣленія M служитъ слѣдующее уравненіе $M.\,ca^2 = m.\,v^2 + m_1.\,v^2{}_1 + m_2.\,v^2{}_2 + \ldots$, гдѣ $v, v_1, v_2 \ldots$ означаютъ разстоянія массъ $m, m_1\, m_2 \ldots$ отъ оси вращенія c. Такъ какъ въ каждомъ тѣлѣ мы вправѣ предположить безконечное множество точекъ, то очевидно, что рядъ $mv^2 + m_1 v_1{}^2 + m_2\, v_2{}^2 + \ldots$, всегда будетъ состоять изъ безконечнаго числа членовъ, сложеніе которыхъ составляетъ уже математическую задачу. Въ тѣхъ случаяхъ, когда составъ тѣла однороденъ и когда форма его геометрически правильна, законъ составленія членовъ въ этомъ ряду столь простъ, что полученіе суммы этого ряда легко получается съ помощію элементарной алгебры. Напротивъ того, когда форма тѣла неправильная и составъ его неоднороденъ, то численная величина такого ряда даже и посредствомъ приложенія высшей математики можетъ быть опредѣлена только приблизительно.

—

Ударъ тѣлъ.

§ 70. До сихъ поръ мы разсматривали движеніе независимо отъ свойствъ двигающихся тѣлъ. Понятіе объ ударѣ.

При каждомъ движеніи тѣла особенныя свойства послѣдняго не оказываютъ вліянія на самое движеніе, потому что тѣло въ каждой точкѣ своего пути должно оставаться неизмѣннымъ и сохранять тѣ самыя свойства, которыми оно обладало при началѣ движенія. При этомъ мы считаемъ не лишнимъ замѣтить, что началомъ движенія должно разумѣть тотъ моментъ, когда вся масса тѣла приведена въ движеніе. — Всё измѣненіе представляемое тѣломъ при такомъ движеніи, заключается очевидно въ одной перемѣнѣ положенія тѣла относительно окружающихъ предметовъ.

Со всѣмъ другое явленіе представляютъ намъ тѣла при движеніи, происходящемъ послѣ взаимнаго дѣйствія другъ на друга двухъ или нѣсколькихъ тѣлъ. — Это взаимное дѣйствіе тѣлъ другъ на друга называютъ *ударомъ* въ томъ случаѣ, когда оно происходитъ въ теченіи такого незначительнаго времени, которое не можетъ быть уловимо нашими чувствами.—

Мы уже говорили (§ 11), что частицы всякаго тѣла находятся подъ вліяніемъ двухъ силъ (притягательной и расширительной), сохраняющихъ между собою равновѣсіе, которое очевидно можетъ нарушаться отъ вліянія постороннихъ причинъ.—Посмотримъ теперь, какимъ образомъ оно нарушается при ударѣ тѣлъ.



Явленія происходящія при ударѣ. § 71. При взаимной встрѣчѣ двухъ двигающихся массъ явленіе *удара* начинается между ними собственно только тогда, когда одна масса вслѣдствіе инерціи и непроницаемости встрѣчаетъ со стороны другой сопротивленіе своему движенію, слѣдовательно когда обѣ массы производятъ взаимное давленіе, стараясь, такъ сказать, проникнуть другъ въ друга.—При началѣ этого прониканія соприкасающіяся частицы конечно оказываютъ взаимное притяженіе между собою и если бы при этомъ частицы одной изъ встрѣтившихся массъ были независимы другъ отъ друга, то онѣ *пристали бы* къ другой массѣ точно такъ, какъ обыкновенно пристааетъ пыль къ тѣламъ. — Этимъ дѣйствіемъ и ограничилось бы въ настоящемъ случаѣ взаимное вліяніе встрѣтившихся тѣлъ. Но если обѣ массы состоятъ изъ скопленія частицъ, положеніе которыхъ въ каждой массѣ обусловлено взаимнымъ дѣйствіемъ притягательной и расширительной силъ, то очевидно что при ударѣ вслѣдъ за притяженіемъ должно тотчасъ же обнаружиться дѣйствіе этихъ силъ. — Это обоюдное дѣйствіе частичныхъ силъ встрѣтившихся тѣлъ, смотря по внутреннему строенію послѣднихъ, обнаруживается различнымъ образомъ; такъ напр. тѣла могутъ ломаться, гнуться, нагрѣваться и т. п.

Точно также если вслѣдствіе удара происходитъ движеніе, то оно всегда должно обусловливаться взаимнымъ отношеніемъ частичныхъ силъ обѣихъ встрѣтившихся массъ.

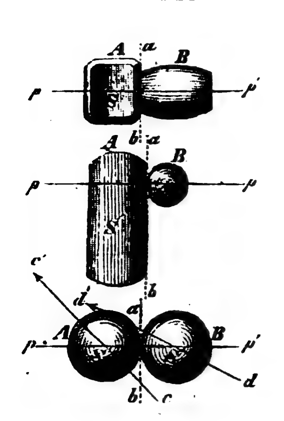
Если отношеніе между частичными силами тѣлъ таково, что частицы сохраняютъ достаточную связь между собою какъ напр. въ твердомъ тѣлѣ, то хотя ударъ, сообщенный этому тѣлу и дѣйствуетъ только на извѣстное число частицъ его поверхности, тѣмъ не менѣе онъ распространяется равномѣрно между всѣми частицами тѣла. И въ самомъ дѣлѣ наблюденіе и опытъ показываютъ, намъ что по прошествіи извѣстнаго времени, необходимаго для этой передачи (§ 29), вся масса ударяемаго тѣла приходитъ наконецъ въ движеніе. Точно также и измѣненіе, претерпѣваемое при ударѣ двумя движущимися твердыми тѣлами, должно распространяться равномѣрно въ ихъ массѣ, такъ что послѣ удара всѣ частицы каждой массы должны будутъ сохранять одинаковую скорость.

Но если отношеніе между частичными силами ударяемаго тѣла таково, что частицы обладаютъ легкою подвижностію, то движеніе, сообщенное ударомъ, не можетъ уже распространяться равномѣрно между всею массою подобнаго тѣла.—И въ самомъ дѣлѣ опытъ показываетъ намъ, что въ этомъ случаѣ только часть тѣла непосредственно подверженная удару производитъ движеніе, какъ это мы видимъ при ударѣ твердаго тѣла объ воду.

Различные виды удара. § 72. Прежде подробнаго разсмотрѣнія явленій, встрѣчающихся при ударѣ, скажемъ нѣсколько словъ о различныхъ случаяхъ, въ которыхъ могутъ находиться ударяющія тѣла.

Если направленіе, по которому сообщается ударъ, проходитъ чрезъ центръ тяжести тѣла, то ударъ называется *центральнымъ*, въ про-

Фиг. 121.



тивномъ же случаѣ *эксцентрическимъ* —Если въ моментъ удара направленія соприкасающихся плоскостей отвѣсны къ линіи, по которой происходитъ движеніе, то ударъ называютъ *прямымъ*, а въ другихъ случаяхъ — *косвеннымъ*. Если оба тѣла соприкасаются въ одной точкѣ, какъ напр. два шара, то ударъ бываетъ прямой въ томъ случаѣ, когда точка прикосновенія двухъ ударяющихся шаровъ лежитъ на линіи, по которой происходитъ движеніе ихъ центровъ, въ противномъ же случаѣ ударъ бываетъ косвенный. Объясненныя нами различные случаи удара представлены на фиг. 121.

Измѣненія, претерпѣваемыя ударяющимися тѣлами, зависятъ отъ направленія, по которому происходитъ ударъ, отъ степени упругости и вида тѣлъ; кромѣ того оба тѣла могутъ быть въ движеніи до удара; ударяемое тѣло можетъ находиться въ покоѣ, быть наконецъ подвижнымъ или неподвижнымъ.

Это различіе обстоятельствъ, встрѣчаемыхъ при ударѣ, дѣлаетъ затруднительнымъ выводъ общихъ законовъ его и потому мы ограничимся только разсмотрѣніемъ главнѣйшихъ случаевъ.—Относительно упругости мы будемъ выводить законы для тѣлъ совершенно упругихъ и неупругихъ, не принимая во вниманіе различія степеней упругости.

§ 73. Разсмотримъ предварительно прямой ударъ и обратимъ сперва вниманіе на прямой ударъ *неупругихъ* тѣлъ.—Чтобы сдѣлать выводъ по возможности проще возмемъ два тѣла правильной формы, какъ напр. два шара.— Прямой ударъ неупругихъ шаровъ.

Обратимся сперва къ тому случаю, когда оба шара двигаются по одному направленію. — Понятно, что при этомъ условіи между ними можетъ произойти ударъ только тогда, когда скорость задняго шара болѣе скорости передняго. Положимъ напр. что шаръ, имѣющій 8 фунтовъ вѣсу и 10 футовъ скорости, движется позади шара, обладающаго 2 фунтовою массою и 5 футовою скоростію. Ясно, что по прошествіи извѣстнаго времени послѣдній шаръ будетъ настигнутъ первымъ. Вслѣдствіе сопротивленія, встрѣчаемаго при ударѣ, задній шаръ будетъ производить давленіе на передній, передавая ему часть своей скорости, между тѣмъ какъ передній въ свою очередь будетъ оказывать противодѣйствіе движенію задняго, уменьшая чрезъ то его скорость. — Это взаимное увеличеніе и уменьшеніе скоростей будетъ продолжаться до тѣхъ поръ, пока скорости обоихъ шаровъ не сдѣлаются равными. — Ясно, что съ пріобрѣтеніемъ равныхъ скоростей обоими шарами должно прекратиться и давленіе, производимое ими другъ на друга.—Такъ какъ всякое дѣйствіе равно противодѣйствію (§ 39), то очевидно, что давленіе, производимое заднимъ шаромъ, должно быть одинаково сильно и одинаково продолжительно съ давленіемъ, претер-

пѣваемымъ имъ со стороны передняго шара.—Эти два равныя давленія мы можемъ представить себѣ въ видѣ двухъ равныхъ силъ, дѣйствующихъ одновременно на два шара различной массы.—Но мы уже знаемъ (§ 39), что при одновременномъ дѣйствіи двухъ равныхъ силъ количества движенія, производимыя ими, всегда бываютъ равны между собою. Примѣняя это къ силамъ, обнаруживающимся при ударѣ, изъ которыхъ одна уменьшаетъ скорость задняго, а другая увеличиваетъ скорость передняго шара, мы получимъ, что оба количества движенія, сообщенныя вслѣдствіе удара, должны быть равны между собою. Слѣдовательно на сколько уменьшится количество движенія задняго шара 8×10, на столько увеличится количество движенія передняго шара 2×5. Значитъ сумма количествъ движеній, ударяющихся шаровъ, остается *одна и таже* во все продолженіе удара. По этому въ то мгновеніе, когда прекратится ударъ и когда скорость ихъ сдѣлается одинаковою, то количество движенія обоихъ шаровъ, составляющихъ теперь какъ бы одну массу, будетъ равно суммѣ количествъ движеній обоихъ шаровъ до удара. Сумма количествъ движеній до удара будетъ въ предыдущемъ примѣрѣ 8. 10+2. 5 или 90.—Эта сумма будетъ равна количеству движенія послѣ удара, которое въ свою очередь равно общей массѣ шаровъ или 8+2=10, помноженной на общую скорость ихъ.—Спрашивается какъ должна быть велика эта общая скорость. Если скорость эта, помноженная на 10 или увеличенная въ 10 разъ, равна 90, то одна десятая часть ея будетъ равна 90, раздѣленному на 10 или 9-ти футамъ. Слѣдовательно, чтобы получить послѣ удара величину *общей скорости* двухъ шаровъ, двигающихся другъ за другомъ, должно *сумму количествъ движеній ихъ до удара раздѣлить на сумму массъ.*

Если общая скорость шаровъ послѣ удара равна 9 футамъ, то очевидно, что во время удара скорость задняго шара уменьшится на 1 футъ и дойдетъ до 9-ти фут., между тѣмъ какъ скорость передняго увеличится на 4 фут. — Количество движенія, потерянное при этомъ 8-ми фунтовымъ шаромъ, будетъ 8. 1=8, а количество движенія, пріобрѣтенное переднимъ, будетъ 2. 4 = 8 т. е. одно и тоже какъ для перваго такъ и для втораго шара.

Для общаго обозрѣнія мы представляемъ сказанное нами формулой. Если M и m массы, а C и c скорости шаровъ до удара, а v общая скорость послѣ удара, то получимъ $(M+m)\,v=MC+mc$; откуда $v=\frac{MC+mc}{M+m}$.

Если обѣ массы шаровъ, двигающихся другъ за другомъ, равны напр. 5 фунтамъ; скорость же задняго и по прежнему равна 10, а передняго 5 фут., то на основаніи сказаннаго нами общая скорость получится, если сумму количествъ движеній раздѣлимъ на сумму массъ: $\frac{5.10+5.5}{5+5}=\frac{50+25}{10}=\frac{75}{10}=7\frac{1}{2}$ фут. Тоже число футовъ мы получимъ, если возмемъ *полусумму скоростей* $\frac{10+5}{2}=7\frac{1}{2}$ фут.

Для знакомыхъ съ математикою, сдѣланное нами заключеніе можетъ быть непосредственно выведено изъ уравненія $v=\frac{MC+mc}{M+m}$; если $M=m$, то $v=\frac{M(C+c)}{M.\ 2}=\frac{C+c}{2}$ *т. е. общая скорость послѣ удара при равенствѣ массъ равна полусуммѣ первоначальныхъ скоростей.*

Если шаръ, имѣющій 2 фунтовую массу, находится въ покоѣ, то послѣ удара объ него шара, имѣющаго 8 фунт. вѣсу и 10 фут. скорости, сумма количествъ движеній, раздѣленная на сумму массъ, выразится слѣдующимъ образомъ: $\frac{8.10+2.0}{8+2}=\frac{8.10}{8+2}=\frac{80}{10}=8$ фут.—

Если при этомъ массы равны, такъ напр. если онѣ обѣ равны 5 фунт., то общая скорость будетъ равна $\frac{5.10}{5+5}=\frac{50}{10}=5$ фут.—И въ этомъ случаѣ мы получимъ тоже число футовъ, если возмемъ половину скорости, двигающагося шара т. е. $\frac{10}{2}=5$ фут.—Это значитъ, если двигающееся тѣло ударяетъ объ другое, находящееся въ покоѣ и обладающее равной съ нимъ массой, то послѣ удара оба тѣла будутъ двигаться со скоростію, равною половинѣ скорости, ударяющаго шара.—

Если въ уравненіи $v=\frac{MC+mc}{M+m}$; скорость $c=o$, то $v=\frac{MC}{M+m}$; когда же сверхъ того $M=m$, то $v=\frac{C}{2}$.

Чѣмъ масса покоющагося шара значительнѣе массы ударяющагося, тѣмъ меньшую скорость будутъ имѣть шары послѣ удара; такъ напр. если масса покоющагося шара равна не 2 но 10 фунтамъ, а масса шара ударяющаго со скоростію 10 фут., равна 8 фунт., то получимъ $\frac{8.\ 10}{8+10}=\frac{80}{80}=1$ фут. Это потому, что одна и таже скорость послѣ удара должна быть сообщена въ настоящемъ случаѣ въ 8 разъ большей массѣ.

Если мы можемъ принять массу покоющагося тѣла за безконечно большую сравнительно съ массою ударяющаго тѣла, то движеніе послѣдняго прекратится послѣ удара и обѣ массы будутъ оставаться въ покоѣ.

Справедливость послѣдняго можетъ быть легко объяснена уравненіемъ $v=\frac{M\ C}{M+m}$; и въ самомъ дѣлѣ чѣмъ значительнѣе m т. е. масса покоющагося тѣла относительно M, тѣмъ менѣе будетъ скорость v.

На этомъ основаніи если весьма тяжелое тѣло держать въ рукахъ и бить объ него молоткомъ, то мы не будемъ ощущать боли, потому что значительная масса пріобрѣтаетъ въ этомъ случаѣ отъ удара небольшую скорость, а чрезъ то и будетъ производить незначительное давленіе на руку.

Если количества движенія обоихъ шаровъ равны между собою и оба они двигаются по одной прямой линіи на встрѣчу другъ другу

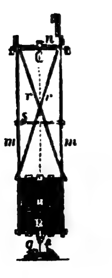


по противоположнымъ направленіямъ, то вслѣдствіе сказаннаго нами очевидно, что скорости ихъ должны взаимно уничтожаться и оба шара послѣ удара будутъ оставаться въ покоѣ.

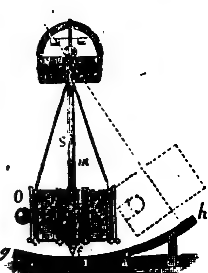
На этомъ основаніи, если мы желаемъ остановить какое нибудь быстро бѣгущее животное, то должно противоставить движенію его тѣло или имѣющее одинаковую массу и одинаковую скорость или обладающее меньшей массой и значительной скоростію или наконецъ бо́льшею массою и соотвѣтственно меньшею скоростію. При кавалерійскихъ атакахъ всадники, примыкая плотно другъ къ другу, устремляются противу массы непріятелей такимъ образомъ, чтобы постоянно возрастающая скорость движенія въ моментъ удара достигла наибольшаго своего предѣла. Для отраженія этого удара не слѣдуетъ противнику оставаться на мѣстѣ, а должно самому двинуться на встрѣчу съ наибольшею скоростію.

Законы удара доставляютъ большую пользу при опредѣленіи весьма значительныхъ скоростей, какъ напр. при опредѣленіи скорости ядра, пущеннаго изъ артиллерійскаго орудія.— Для этого опредѣленной *массы* ядро пускаютъ въ тяжелое тѣло также извѣстной массы и по скорости движенія, сообщенной ядромъ тѣлу, судятъ о скорости ядра при самомъ вылетѣ изъ орудія. Если масса ядра$=$1 фунту, масса тяжелаго тѣла 1000 фунтамъ, а скорость сообщенная ей$=$2 футамъ, то,

Фиг. 122.



Фиг. 123.



примѣняя къ настоящему случаю формулу $v=\frac{M\ C}{M+m}$ получимъ $2=x\ \frac{1}{1000+1}$, гдѣ x означаетъ скорость ядра. Изъ этой формулы нетрудно вывести, что величина x будетъ равна 2002 футамъ. На фиг. 121 показанъ передній видъ прибора, употребляемаго съ этою цѣлію и называемаго *баллистическимъ маятникомъ*. Фиг. 122 представляетъ маятникъ съ боку. Онъ состоитъ изъ обитаго желѣзомъ тяжелаго бруса B, который виситъ на подвижной оси c, Нижнимъ своимъ концомъ маятникъ движется по желобу дуги gh, наполненному воскомъ или саломъ, въ которомъ шпенекъ f дѣлаетъ слѣдъ, показывающій намъ графически величину размаха маятника въ томъ случаѣ, когда ударяетъ объ него ядро.

Положимъ теперь, что взятые нами въ предыдущемъ примѣрѣ оба шара, изъ которыхъ одинъ имѣетъ 8 фунтовъ вѣсу и 10 футовъ скорости, а другой 2 фунта вѣсу и 5 футовъ скорости двигаются на встрѣчу другъ другу. — Вслѣдствіе удара оба они будутъ производить равныя давленія другъ на друга. Эти равныя давленія мы можемъ по прежнему представить себѣ въ видѣ двухъ равныхъ силъ, дѣйствующихъ одновременно на два шара различной массы.—

Вся разница отъ предыдущаго случая заключается въ томъ, что *теперь* количества движенія *обоихъ шаровъ* будутъ *уменьшаться* на одинаковую величину. Это уменьшеніе будетъ очевидно продолжаться до тѣхъ поръ, пока количество движенія меньшаго шара не сдѣлается равнымъ нулю т. е. пока скорость меньшаго шара не уничтожится совершенно.—Если меньшій шаръ утратилъ количество движенія равное 2. 5, то очевидно, что давленіе производимое меньшимъ

шаромъ во время удара, уменьшитъ на такую же величину количество движенія бо́льшаго шара. — Слѣдовательно въ тотъ моментъ, когда уничтожится скорость меньшаго шара и количество движенія его превратится въ нуль (2. 0), то количество движенія большаго шара будетъ равно не 8. 10 или 80, но 70.—Значитъ въ моментъ прекращенія удара *количество движенія обоихъ шаровъ будетъ равно разности количествъ движеній ихъ до удара*: т. е. 8. 10—2. 5=70.

Такъ какъ по прекращеніи удара оставшаяся скорость большаго шара должна будетъ распредѣлиться между общею массою шаровъ, которые будутъ двигаться съ одинаковою скоростію по направленію большаго шара, то очевидно, что количество движенія равное разности количествъ движеній до удара или 70 будетъ равно общей скорости, помноженной на сумму массъ 8+2 или 10.—Раздѣливъ по предыдущему 70 на 10, мы найдемъ, что общая скорость будетъ равна 7-ми футамъ—

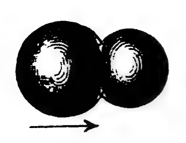
Если общая скорость послѣ удара равна 7 футамъ, то очевидно, что большій шаръ потеряетъ 3 фута скорости; слѣдовательно потеря въ количествѣ движенія его будетъ 8. 3 или 24.—Эта потеря, какъ мы уже видѣли, употребляется *сперва* на уничтоженіе скорости втораго шара, количество движенія котораго при 2 фунтахъ вѣса и 5 футахъ скорости равно 2. 5 или 10.—Послѣ того послѣднему шару должна быть сообщена скорость 7 футовъ по направленію противоположному къ первоначальному его движенію, а какъ масса его равна 2 фунтамъ, то количество движенія, сообщенное ему, будетъ 2. 7 или 14. Оба числа 10 и 14 даютъ вмѣстѣ число 24, соотвѣтствующее количеству движенія, утраченному при ударѣ бо́льшимъ шаромъ.—

Если M и m массы, C и c скорости до удара и v общая скорость обоихъ массъ послѣ удара, то $(M+m)\ v=MC-mc$, откуда $v=\dfrac{MC-mc}{M+m}$.—

§ 74. Перейдемъ теперь къ прямому удару *упругихъ* тѣлъ. Если два *упругія* тѣла, напр. два шара, двигаются другъ за другомъ и придутъ наконецъ во взаимное столкновеніе, то оба тѣла оказываютъ сперва равное давленіе другъ на друга и соприкасающіяся части ихъ будутъ сдавливаться до извѣстной степени (Фиг. 124). Въ это мгновеніе шары можно считать за неупругіе.—Положимъ, что ударъ происходитъ между шарами, изъ которыхъ одинъ имѣетъ 8-ми фунтовую массу и 10-ти футовую скорость, а другой 2-хъ фунтовую массу и 5-ти футовую скорость. Опредѣливъ на основаніи сказаннаго нами выше общую скорость для момента, когда прекращается сдавливаніе $\left(\frac{8.10+2.5}{10}=\frac{80+10}{10}=\frac{90}{10}=9\ \text{футамъ}\right)$, найдемъ, что задній по прежнему потеряетъ скорость 10—9 или 1 футъ, а передній пріобрѣтетъ скорость 9—5 или 4 фут. Но какъ по прекращеніи

Прямой ударъ упругихъ шаровъ.

Фиг. 124.



сдавливанія шары начинаютъ воспринимать форму съ тою же силою, какъ и лишались ея, то очевидно, что при этомъ они должны снова оказать тоже самое дѣйствіе другъ на друга. Передній шаръ, вытягивающійся къ сторонѣ задняго, сообщитъ ему ударъ, при которомъ онъ потеряетъ еще разъ скорость 10—9; задній же, вытягивающійся къ сторонѣ передняго шара, доставляетъ ему вторичный ударъ, при которомъ скорость послѣдняго увеличивается опять на 9—5. Такъ какъ послѣ первой половины удара оба шара получили скорость 9 фут., а послѣ второй половины удара скорость задняго уменьшилась еще на 10—9 футъ, а скорость передняго увеличилась еще на 9—5 футъ, то очевидно, что по совершенномъ окончаніи удара скорость задняго будетъ 9—(10—9) или 9—1 или 8 фут., а скорость передняго 9+(9—5) или 9+4 т. е. 13 фут.—

Если назовемъ чрезъ v общую скорость шаровъ въ первую половину удара, чрезъ C и c ихъ скорости до удара, то задній потеряетъ $C-v$, а передній пріобрѣтетъ $v-c$.— Послѣ второй половины удара скорость задняго V будетъ $= v-(C-v)=2v-C$, а передняго $V'=v+v-c=2v-c$.—

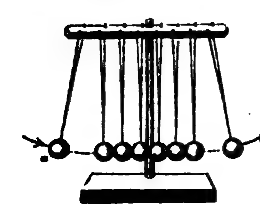
Положимъ теперь, что оба шара, двигающіеся другъ за другомъ, имѣютъ равныя массы, изъ которыхъ передняя обладаетъ скоростію 2, а задняя 8 футовъ. По достиженіи передняго шара задній будетъ давить на него до тѣхъ поръ, пока оба они не получатъ одинаковой скорости, которая на основаніи выведеннаго нами для удара неупругихъ тѣлъ, будетъ равняться полусуммѣ скоростей или 5 фут.—Ясно, что при этомъ задній потеряетъ, а передній пріобрѣтетъ 3 фут. скорости. Но какъ только прекращается сдавливаніе, то оба тѣла вытягиваются къ наружи съ тою самою силою, съ которою происходило сжатіе ихъ. Поэтому переднее тѣло задерживаетъ заднее до тѣхъ поръ, пока послѣднее не сообщитъ ему еще 3 футовъ скорости. Слѣдовательно отъ общей скорости 5 фут., которую пріобрѣли шары послѣ первой половины удара въ концѣ удара, задній шаръ будетъ имѣть 5—3 или 2 фута, а передній 5+3 или 8 фут.—Это показываетъ намъ, что *при ударѣ упругихъ шаровъ равныхъ массъ происходитъ только обмѣнъ скоростей.*—

Если массы обоихъ шаровъ равны, то $v=\frac{C+c}{2}$ и $2v=C+c$; вставляя въ выраженія $V=2v-C$ а $V'=2v-c$ вмѣсто $2v$ равную ему величину $C+c$ получимъ $V=C+c-C$ и $V'=C+c-c$, откуда $V=c$, а $V'=C$.

Если одно изъ двухъ ударяющихся тѣлъ равной массы находится въ покоѣ до удара, то обмѣнъ скоростей будетъ заключаться здѣсь въ томъ, что покоющійся шаръ произведетъ движеніе потому же направленію со скоростію ударяющаго шара, между тѣмъ какъ послѣдній останется въ покоѣ.—Подобное явленіе мы можемъ произвести шарами на билліардѣ, хотя оно и не повторяется здѣсь совершенно точно, потому что на ударъ въ этомъ случаѣ, имѣетъ вліяніе и треніе, образующееся вслѣдствіе катящагося движенія шаровъ. —

Въ физическихъ кабинетахъ производятъ этотъ опытъ посредствомъ прибора, называемаго машиной Гравезанда.

Фиг. 125.



Вѣшаютъ рядъ (фиг. 125) шаровъ изъ слоновой кости на параллельныхъ нитяхъ такимъ образомъ чтобы шары, взаимно прикасались между собою и чтобы центры ихъ лежали на одной горизонтальной линіи. Поднявъ одинъ изъ крайнихъ шаровъ и заставивъ его упасть на рядъ шаровъ, мы увидимъ, что всѣ они останутся въ покоѣ кромѣ послѣдняго шара на противоположномъ концѣ ряда.—Это потому, что первый ударяющій шаръ передаетъ свою скорость второму и самъ останавливается; второй передаетъ эту скорость третьему, этотъ—четвертому и т. д., но каждый изъ нихъ остается въ покоѣ, кромѣ послѣдняго, который, не имѣя возможности сообщить пріобрѣтенную скорость, поднимается кверху на столько на сколько, опустился первый шаръ. Замѣчательно, что эта передача скоростей совершается такъ быстро, что употребляемое для того время совершенно незамѣтно. Если послѣдній шаръ опустится вслѣдствіе собственной своей тяжести, то поднимется первый на ту высоту, съ которой онъ былъ первоначально опущенъ, и это движеніе крайнихъ шаровъ продолжится до тѣхъ, поръ пока небудетъ уничтожено сопротивленіемъ воздуха и другими препятствіями.

Если поднять два или три шара и опустить ихъ *вмѣстѣ* на рядъ шаровъ, то на столько же поднимутся разомъ оба крайніе шара на противоположномъ концѣ.—Причина заключается въ томъ, что падающіе шары дѣйствуютъ не мгновенно, но вскорѣ другъ послѣ друга; такъ напр., если мы опустили два шара, то сперва ударяетъ второй по третьему и ударъ распространяется до послѣдняго, который и отскакиваетъ; но непосредственно затѣмъ ударяетъ первый шаръ по второму и ударъ распространяется отъ шара къ шару и достигаетъ до предпослѣдняго въ то именно мгновеніе, когда послѣдній шаръ уже начинаетъ двигаться, по этому предпослѣдній шаръ, не имѣя возможности передать послѣднему пріобрѣтенной скорости, долженъ двигаться непосредственно за нимъ.

Подобный обмѣнъ скорости происходитъ и при ударѣ двухъ упругихъ шаровъ, двигающихся по одному направленію на встрѣчу другъ другу. Вся разница отъ предъидущаго случая состоитъ въ томъ, что шары будутъ здѣсь отскакивать другъ отъ друга.

Если масса шара, находящагося въ покоѣ, значительно болѣе массы ударяющаго шара, то послѣ удара послѣдній отразится по противоположному направленію, между тѣмъ какъ другой будетъ двигаться по направленію удара со скоростію тѣмъ меньшею, чѣмъ болѣе масса его превосходитъ массу ударяющаго шара.

§ 75. Если шаръ ударяетъ объ твердую неподвижную стѣну по направленію отвѣсному къ ней и если при этомъ шаръ и стѣна неупруги, то вслѣдствіе продолжительнаго сопротивленія неподвижной стѣны Ударъ шара о неподвижную плоскость.

шаръ потеряетъ всю скорость сообщенную ему ударомъ и останется въ покоѣ.

Если ударяющій упругій шаръ производитъ давленіе объ неупругую, неподвижную плоскость, то вслѣдствія постояннаго сопротивленія послѣдней онъ будетъ постепенно сжиматься до тѣхъ поръ, пока не потеряетъ всей своей скорости. Когда истощится скорость ударяющаго шара, то очевидно должно прекратиться также и дальнѣйшее давленіе его объ стѣну и сжатыя частицы вслѣдствіе упругости будутъ стремиться принять естественное свое положеніе съ тою самою силою, съ которою произошло давленіе ихъ т. е. съ силою удара. — Чрезъ это шаръ *отразится* отъ стѣны со скоростію движенія до удара и будетъ двигаться по противоположному направленію.

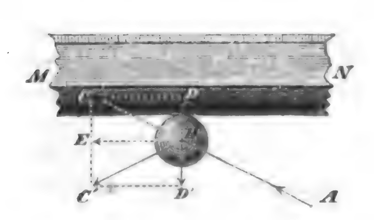
Если неупругій шаръ ударяетъ объ упругую стѣну, то произойдетъ тоже самое, потому что сжатая отъ удара стѣна при обратномъ воспринятіи прежней формы оттолкнетъ шаръ съ тою же скоростію, съ которою онъ дѣйствовалъ на нее до удара.

Если какъ стѣна, такъ и шаръ упруги, то оба тѣла сжимаются при ударѣ съ одинаковою силою и при воспринятіи частицами ихъ прежняго вида взаимно дѣйствуютъ другъ на друга. Но какъ стѣна неподвижна и очевидно не можетъ измѣнить своего мѣста, то долженъ отскочить шаръ въ отвѣсномъ направленіи назадъ со скоростію разбѣга.

Въ справедливости послѣдняго можно убѣдиться, бросая отвѣсно шаръ слоновой кости на мраморную доску.

Если шаръ ударяетъ о неподвижную плоскость *MN*, напр. о бортъ биліарда (фиг .124) по направленію *AB*, съ силою, которая можетъ быть выражена линіею *BC*, то мы можемъ эту силу разложить на двѣ другія — одну *DB* отвѣсную къ *MN* и другую *BE* параллельную къ *MN*.— Когда шаръ и бортъ биліарда неупруги, то очевидно, что отвѣсная составляющая *BD*, выражающая давленіе на плоскость MN, будетъ уничтожена и шаръ подвергается только дѣйствію составляющей *BE*, которая будетъ катить его вдоль плоскости *MN*.—Но если шаръ, плоскость или оба ударяющіяся тѣла вмѣстѣ упруги, то въ движеніи шара приметъ участіе и составляющая сила *BD*. И въ самомъ дѣлѣ сила эта не будетъ обнаруживаться только до тѣхъ поръ, пока упругость шара не заставитъ его отразиться по противоположному направленію со скоростію *BD'* равною *BD*. — Мы разсматривали здѣсь только дѣйствіе одной составляющей силы *BD*, но какъ на шаръ въ тоже время дѣйствуетъ и другая составляющая *BE*, то чтобы опредѣлить направленіе и скорость, съ которою будетъ двигать ея шаръ въ моментъ отраженія отъ стѣны очевидно должно сложить силу *BE* съ силою *BD'*.— Діагональ *BC'* параллелограма, построеннаго на направленіи этихъ силъ, выразитъ намъ какъ направленіе такъ и скорость, которую

Фиг. 126.



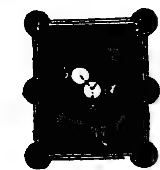
шаръ будетъ имѣть окончательно. Не трудно при этомъ замѣтить, что уголъ $C'BD'$ равенъ углу CBD вслѣдствіе равенства треугольниковъ заключающихъ эти углы; но углы CBD и ABD' также равны между собою, какъ противоположные; слѣдовательно уголъ ABD, долженъ быть равенъ углу $C'BD'$. Для означенія равенства этихъ угловъ обыкновенно употребляютъ выраженіе: *уголъ паденія равенъ углу отраженія.* Законъ этотъ имѣетъ большое примѣненіе при физическихъ явленіяхъ.

На законахъ удара упругихъ тѣлъ основана билліардная игра.—Но болѣе важное примѣненіе законовъ отраженія упругаго шара отъ неподвижной плоскости мы встрѣчаемъ при *рикошетныхъ выстрѣлахъ* изъ артиллерійскихъ орудій. — Для производства этихъ выстрѣловъ употребляютъ соотвѣтственно меньшій зарядъ и даютъ орудію такое наклоненіе, чтобы вылетающее ядро имѣло незначительное направленіе къ горизонту. При паденіи на землю косвенный ударъ ядра отражается подъ тѣмъ же незначительнымъ угломъ, послѣ чего ядро повторяетъ это явленіе до нѣсколькихъ разъ.—Если по направленію полета ядра лежатъ сопротивленія въ разныхъ мѣстахъ, то очевидно, что вслѣдствіе прыжковъ мы будемъ имѣть возможность однимъ выстрѣломъ произвести нѣсколько столкновеній ядра съ сопротивленіями.

§ 76. Намъ остается сказать еще объ *косомъ* ударѣ шаровъ. Положимъ напримѣръ что упругій шаръ *a* (фиг. 127) ударяетъ по находящемуся въ покоѣ шару *b* въ косвенномъ направленіи *Qa* т. е., когда точка прикосновенія шаровъ не лежитъ на линіи соединяющей, центры ихъ, внѣ направленія движенія шара *a*. — Очевидно, что силу *Q*, съ которою совершается ударъ мы можемъ разложить на двѣ—одну *ab*, и другую *af*, дѣйствующую по отвѣсному къ ней направленію. — Въ этомъ случаѣ ударъ произойдетъ отъ дѣйствія только одной силы *ad* и если оба шара равны, то мы знаемъ, что слѣдствіемъ удара будетъ передача скорости *ab* шару *b*.—На долю же шара *a* останется сила *af*. Слѣдовательно послѣ удара шаръ *b* приметъ направленіе *ab*, а шаръ *a* направленіе *af*.— Изъ одного разсмотренія чертежа не трудно догадаться, что направленіе движенія шаровъ послѣ удара зависитъ отъ положенія точки прикосновенія ихъ.


Косой ударъ.

Фиг. 127.

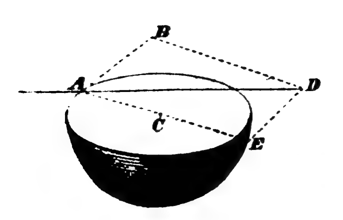


Если шаръ получаетъ экцентрическій ударъ т. е. когда направленіе по которому сообщается ударъ не проходитъ чрезъ центръ ударяемаго шара, то вслѣдствіе такаго удара шаръ пріобрѣтаетъ два движенія одно *поступательное*, а другое *вращательное*.

При этомъ могутъ встрѣтится различные случаи, изъ которыхъ мы ограничимся разсмотрѣніемъ слѣдующихъ.

Представимъ себѣ разрѣзъ шара по горизонтальному направленію, проходящему чрезъ центръ C (фиг. 128) и положимъ, что направленіе экцентрическаго удара *AD* совпадаетъ съ этимъ разрѣзомъ. —Сила сообщающая ударъ шару можетъ быть разложена на двѣ, одну центральную *AE*, направляющуюся отъ точки удара черезъ центръ и другую *AB*, перпендикулярную къ AE. — Отъ дѣйствія первой изъ составляющихъ силъ шаръ будетъ принимать поступательное, а отъ дѣйствія второй вращательное движеніе.

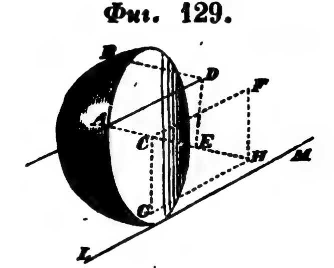
Фиг. 128.



Если же направленіе удара лежитъ не въ горизонтальной, а въ одной отвѣсной плоскости съ центромъ шара, то дѣйствіе будетъ различное, смотря по

тому выше или ниже центра проходитъ направленіе удара. — На фиг. 129 представленъ разрѣзъ шара, лежащаго на горизонтальной плоскости *LM* и подверженнаго экцентрическому удару, направленіе котораго происходитъ по линіи *AD*. Силу *AD* мы можемъ раздѣлить на АЕ, проходящую чрезъ центръ и *AB* перпендикулярную къ ней. — Перенесемъ точку приложенія силы *AE* въ *C* т. е. представимъ себѣ что весь центральный ударъ распространяется отъ центра. Сдѣлавъ *CH*=*AE* мы можемъ послѣднюю силу раздѣлить на двѣ другія: *CF* параллельную къ *LM* и *CG* перпендикулярную къ *LM*; сила *CF* сообщаетъ шару поступательное движеніе, между тѣмъ какъ сила *CG* представляетъ намъ часть удара дѣйствующую на плоскость *LM* только въ видѣ давленія. — Что же касается до касательной силы АВ, то она производитъ вращеніе, которое въ этомъ случаѣ по своему направленію содѣйствуетъ поступательному движенію.

Фиг. 129.



Если направленіе удара падаетъ ниже центра (ф. 130), то силу *AD* мы можемъ разложить подобно предыдущему на *AB* и *AE*, а послѣднюю силу на *CG* и *CF*, изъ которыхъ *CG*, дѣйствуетъ противу направленія силы тяжести между тѣмъ какъ въ предшествовавшемъ случаѣ эта часть удара содѣйствовала тяжести. Здѣсь должно замѣтить также, что касательная сила сообщаетъ шару вращеніе въ сторону противоположную направленію поступательнаго движенія. Такъ какъ послѣднее движеніе прекращается ранѣе перваго, то шаръ, пройдя извѣстное разстояніе повернется назадъ. Тоже самое дѣйствіе произойдетъ и въ томъ случаѣ если сообщить шару отвѣсный ударъ въ точку *I* или близь нее.

Фиг. 130.

—

Сопротивленія движенію.

Различіе сопротивленій движенію. **§ 77.** Мы уже говорили, что всякое движеніе на основаніи закона инерціи долженствовало бы оставаться неизмѣннымъ и продолжаться вѣчно, но какъ подобнаго движенія мы не встрѣчаемъ въ природѣ, то причину уклоненія отъ этого непреложнаго закона должно искать въ тѣхъ препятствіяхъ, которыя тѣла встрѣчаютъ при движеніи своемъ. Къ препятствіямъ этимъ относятся *треніе*, *сопротивленіе* такъ называемыхъ *срединъ* или тѣлъ въ которыхъ происходитъ движеніе и наконецъ *жесткость веревокъ*, служащихъ для передачи движенія.

Треніе. **§ 78.** Если бы тѣло лежало *совершенно* гладкою поверхностію на *совершенно* гладкой же горизонтальной подстилкѣ, то для доставленія ему равномѣрнаго движенія достаточно было бы употребить только такую силу, которая необходима для преодоленія сопротивленія, представ-

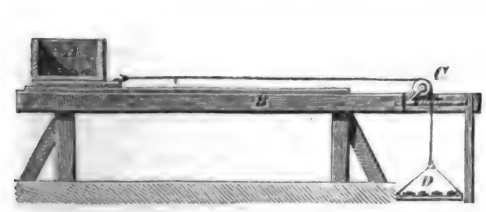
ляемаго инерціею тѣла. Каждое тѣло, не взирая на самую тщательную полировку, вслѣдствіе скважности всегда имѣетъ на своей поверхности нѣкоторыя неровности, состоящія изъ выпуклостей и углубленій.

Фиг. 131.

По этому, если положить тѣло A (фиг. 131) на подставку, то очевидно, что выпуклости его взойдутъ въ соотвѣтственныя углубленія и тѣло A можетъ скользить по подстилкѣ только въ томъ случаѣ, если эти выпуклости будутъ сглаживаться или если выпуклости верхняго тѣла, при незначительности возвышеній подстилки въ состояніи будутъ выходить изъ углубленій. Поэтому для приведенія тѣла A въ движеніе мы должны сообщить ему такой толчекъ, который кромѣ преодоленія сопротивленія инерціи тѣла въ состояніи былъ бы уничтожать препятствія представляемыя поверхностями соприкасающихся тѣлъ. Какъ двигающееся тѣло въ каждой точки подстилки встрѣчаетъ подобныя препятствія, то очевидно, что для побѣжденія ихъ должна постоянно истрачиваться извѣстная часть силы. Слѣдовательно, чтобы поддерживать движеніе тѣла, мы должны *постоянно* прилагать силу для уничтоженія препятствій представляемыхъ на каждомъ шагу поверхностями двигающихся тѣлъ.

Сопротивленіе это, происходящее вслѣдствіе неровностей, представляемыхъ поверхностями сопротивляющихся тѣлъ, называется *треніемъ.* Чтобы найти силу необходимую для преодоленія тренія, представляемаго тѣлами, должно опредѣлить законы этого сопротивленія на опытѣ. Выводами ихъ занимались сперва Мушенброкъ, а потомъ Куломбъ, представившій въ 1779 году самые отчетливые результаты объ этомъ предметѣ въ парижскую академію наукъ, которая наградила его двойною преміею. Наконецъ въ настоящее время результаты Куломба были повѣрены со всею строгостію французскимъ физикомъ Мореномъ, который употреблялъ для этого слѣдующій способъ. Онъ клалъ на столъ небольшія санки

Фиг. 132.



(фиг. 132) и нагружалъ ихъ тяжестію; къ санкамъ привязывалъ снуръ, проходящій чрезъ блокъ и оканчивающійся чашкою для наложенія гирь. То количество гирь, которое необходимо положить на чашку для того. чтобы сдвинуть тѣло съ мѣста и опредѣлить намъ величину сопротивленія представляемаго треніемъ или, говоря другими словами, величину силы, уравновѣшиваемой треніемъ.

Сила эта, выраженная количествомъ гирь, называется *коэфиціентомъ тренія.*

§ 79 .Послѣ многочисленныхъ и тщательныхъ опытовъ Моренъ вывелъ слѣдующіе результаты: Обстоятельства имѣющія вліяніе на треніе.

Сопротивленіе, представляемое треніемъ, или сила, которая уравновѣшивается треніемъ бываетъ тѣмъ *значительнѣе*:

1) Чѣмъ *жесче* соприкасающіяся тѣла, потому что на жесткихъ поверхностяхъ неровности бываютъ значительнѣе и многочисленнѣе чѣмъ на поверхностяхъ сглаженныхъ.

И въ самомъ дѣлѣ для передвиженія неструганной доски по неструганной подстилкѣ мы должны употребить гораздо значительнѣйшее усиліе, нежели въ томъ случаѣ, когда неровности, представляемыя поверхностями этихъ тѣлъ, будутъ сглажены посредствомъ cтруганія.—На этомъ основаніи тѣ мѣста машинъ, которыя подвержены тренію обыкновенно сглаживаются напилкомъ и полируются.—Кромѣ того неровности, представляемыя этими частями, сглаживаются сами собою во время дѣйствія машинъ, такъ что *по прошествіи извѣстнаго времени* въ машинахъ значительно *уменьшается треніе, обнаруживаемое при началѣ* ихъ *движенія.*

Здѣсь должно замѣтить, что при слишкомъ тщательномъ сглаживаніи можетъ въ иныхъ случаяхъ увеличиваться прилипаніе, такъ что съ уменьшеніемъ одного препятствія можетъ увеличиться другое.

Для уменьшенія тренія жесткихъ тѣлъ весьма часто пользуются легкою подвижностію частицъ жидкихъ тѣлъ, оказывающихъ гораздо меньше сопротивленіе движенію. Частицы этихъ тѣлъ проникаютъ въ углубленія поверхностей и держатъ эти поверхности въ извѣстномъ отдаленіи другъ отъ друга.

Согласно со свойствами поверхностей трущихся тѣлъ употребляютъ различныя жидкости для смазки; такъ напримѣръ между металлами помѣщаютъ масло или сало, между деревянными поверхностями сало, мыло или графитъ; вода же, могущая производить разбуханіе дерева, употребляется при движеніи металла по камню. При треніи чугунныхъ поверхностей лучшею смазкою служитъ свиное сало, а при треніи мѣди объ чугунъ простое сало или мыло. Въ большихъ машинахъ при взаимномъ треніи металловъ смазкою служитъ смѣсь изъ 1 части графита и 4 частей свинаго сала.

2) Чѣмъ болѣе давленіе оказываемое однимъ тѣломъ на другое, потому что отъ увеличенія давленія возвышенія одной поверхности могутъ значительно вдавливаться въ углубленія другой. Въ справедливости этого убѣждаютъ насъ самыя обыкновенныя явленія общежитія. Такъ напримѣръ для передвиженія повозки по самой гладкой дорогѣ требуется тѣмъ большее усиліе, чѣмъ значительнѣе она нагружена; чѣмъ тверже ступаемъ на ледъ, тѣмъ менѣе можетъ опасаться на счетъ паденія.

Если сравнить вѣсъ тѣла *A*, привязаннаго къ снуру (фиг. 132) съ тѣмъ вѣсомъ который кладется на чашку *D* для преодоленія тренія, то найдемъ при обыкновенныхъ обстоятельствахъ, что приложенный вѣсъ или *коэфиціентъ тренія* будетъ составлять $\frac{1}{3}$ отъ всего вѣса тѣла а при глаженныхъ поверхностяхъ число приложеннаго вѣса можетъ быть уменьшено до $\frac{1}{1}$ части.

Коэфиціентъ тренія не зависитъ отъ величины прикасающихся поверхностей, если только вѣсъ или давленіе производимое однимъ тѣломъ на другое остается постояннымъ. И въ самомъ дѣлѣ хотя при увеличеніи поверхностей однихъ и тѣхъ же тѣлъ большее число вы-

дающихся точекъ прикасается между собою, но въ замѣнъ того уменьшается давленіе, которое заставляетъ каждую точку входить въ соотвѣтственное углубленіе. Въ справедливости этого не трудно убѣдиться передвигая книгу ребромъ и плашмя. Въ обоихъ случаяхъ должно употребить одинаковое число гирь для передвиженія ея.

На этомъ основаніи весьма ошибочно полагаютъ нѣкоторые, что колеса съ широкими ободьями претерпѣваютъ на мостовой большее треніе противу одинаковыхъ колесъ съ узкими ободьями, если вѣсъ колесъ въ обоихъ случаяхъ одинаковъ.

3) *Чѣмъ однороднѣе неровности*, потому что при поверхностяхъ съ однородными неровностями большее число возвышеній находитъ для себя соотвѣтственныя углубленія. И въ самомъ дѣлѣ треніе между желѣзными поверхностями значительнѣе, нежели между желѣзомъ и мѣдью, мягкое дерево при движеніи своемъ на твердой подстилкѣ претерпѣваетъ слабѣйшее треніе нежели на мягкой. Для желѣзныхъ осей употребляютъ мѣдныя втулки и вообще, если должно двигать другъ по другу два металла, то наблюдаютъ, чтобы одинъ изъ нихъ былъ отлитъ, а другой выкованъ.

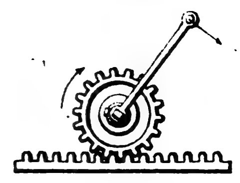
Если волокна двухъ деревьевъ скрещиваются (+), то треніе обнаруживаемое ими бываетъ слабѣе, нежели въ томъ случаѣ, когда эти волокна находятся въ параллельномъ направленіи между собою.—

4) *Чѣмъ болѣе самый образъ движенія препятствуетъ къ освобожденію выпуклостей* одного тѣла изъ углубленій другаго. Чтобъ уменьшить это препятствіе *скользящее* движеніе тѣлъ сопряженное съ сглаживаніемъ или раздавливаніемъ неровностей замѣняютъ *катящимся* движеніемъ (фиг. 133), при которомъ различныя точки катящагося тѣла задѣваютъ *послѣдовательно* за различныя точки подстилки. При послѣднемъ родѣ тренія возвышенія катящагося тѣла входятъ и выходятъ изъ углубленій подстилки, точно также какъ зубцы колеса, катящагося вдоль полосы съ нарѣзанными зубцами (фиг. 134). Понятно, что для передвиженія такого колеса гораздо легче катить его, чѣмъ тащить вдоль полосы.



Фиг. 133. *Фиг.* 134.





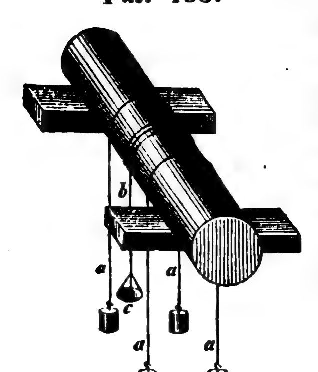
Треніе обнаруживаемое при катящемся движеніи называютъ *треніемъ втораго рода*, въ отличіе отъ тренія, происходящаго при скользящемъ движеніи и называемаго *треніемъ перваго рода*.

Чтобы еще болѣе убѣдиться въ незначительности тренія при катящемся движеніи стоитъ только обратить вниманіе на 134 фиг.—И въ самомъ дѣлѣ для передвиженія катящагося тѣла по нижней плоскости ему необходимо сперва подняться по небольшой наклонной плоскости *db*, при чемъ всѣ точки его должны подняться на высоту наклонной плоскости или на столько, на сколько *d* лежитъ ниже *b* т. е. на весьма незначительную величину.

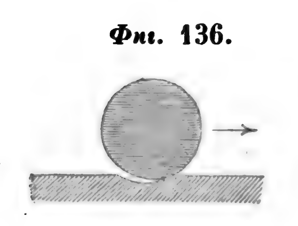
Кромѣ того треніе помогаетъ въ этомъ случаѣ вращающей силѣ доставлять верхнему тѣлу *поступательное* движеніе, потому, что часть тѣла прикасающаяся къ нижней плоскости, задерживается сопротивленіемъ послѣдней до тѣхъ поръ, пока вращающая сила не приведетъ въ прикосновеніе съ плоскостію новой части верхняго тѣла.

Для опредѣленія *коэфиціента тренія* при катящемся движеніи кладутъ валъ изъ испытуемаго вещества (фиг. 135) на подставки и обматываютъ его нитію съ привязанною чашею. Если накладывать осторожно гири въ чашу до тѣхъ поръ, пока валъ не начнетъ вращаться, то очевидно, что число гирь опредѣлитъ намъ въ этомъ случаѣ коэфиціентъ тренія. Если станемъ обременять постепенно валъ новыми гирями и чрезъ то увеличивать давленіе производимое валомъ на горизонтальныя подставы, то найдемъ, что вмѣстѣ съ тѣмъ будетъ возрастать и величина коэфиціента тренія. Обстоятельство это наводитъ насъ на предположеніе, что если катящійся по подстилкѣ валекъ имѣетъ значительный вѣсъ (фиг. 136), то вслѣдствіе давленія, производимаго имъ на подстилку происходитъ постоянное измѣненіе прикасающихся частей: валекъ сплющивается и вмѣстѣ съ тѣмъ выдавливаетъ въ поддерживающей его поверхности небольшую бороздку, такъ что при наступательномъ движеніи своемъ онъ долженъ постоянно подниматься по небольшой наклонной плоскости. Зависимость тренія катящихся тѣлъ отъ вѣса показываетъ, что для опредѣленія величины тренія какого нибудь тѣла должно помножить коэфиціентъ тренія соотвѣтствующій этому тѣлу на вѣсъ его.

Фиг. 135.

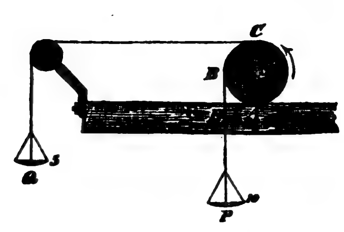


Фиг. 136.



Но кромѣ вѣса на величину тренія имѣетъ также вліяніе и величина діаметра катящагося тѣла. Положимъ, что сила P, (фиг. 137), приложенная къ оконечности линіи BO, равной BA уравновѣшиваетъ сопротивленіе, представляемое треніемъ въ точкѣ A. Ясно, что тоже самое дѣйствіе можетъ произвести вдвое меньшая сила Q дѣйствующая на оконечность линіи AC, въ два раза большей противу линіи BO, потому что въ обоихъ случаяхъ моменты силъ будутъ равны между собою. Разсуждая такимъ же образомъ не трудно доказать, что если бы увеличился діаметръ колеса AC, то согласно этому увеличенію должна уменьшиться и сила уравновѣшивающая сопротивленіе представляемое треніемъ. И въ самомъ дѣлѣ опытъ показываетъ намъ, что *треніе уменьшается во столько разъ, во сколько увеличивается поперечникъ катящагося тѣла* или, говоря математическимъ языкомъ, *треніе пропорціонально поперечнику катящагося тѣла.*

Фиг. 137.



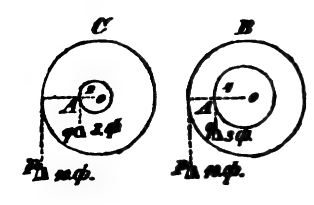
Выгода, доставляемая катящимся движеніемъ относительно тренія, служитъ причиною того, что для передвиженія значительныхъ тяжестей подстилаютъ подъ нихъ вальки.—Самое устройство нашихъ экипажей находится въ зависи-

мости отъ различія тренія представляемаго землею въ различное время года; такъ напримѣръ зимою, когда покрытая снѣгомъ земля представляетъ сглаженную поверхность, мы ставимъ наши экипажи на полозья, между тѣмъ какъ лѣтомъ, когда земля бываетъ неровная, мы замѣняемъ скользящее движеніе полозьевъ катящимся движеніемъ колесъ. — Такъ какъ треніе при катящемся движеніи уменьшается съ увеличеніемъ діаметра и возрастаетъ сообразно вѣсу тѣла, то чтобы согласить оба эти условія не дѣлаютъ колесо сплошнымъ, а соединяютъ его ободъ со втулкою посредствомъ спицъ.

Мы знаемъ, что всякое катящееся тѣло должно производить *вращеніе* вокругъ своей оси. — Положимъ, что вращающееся тѣло дотрогивается нижнею своею частію до какой нибудь точки той поверхности, по которой оно катится. Ясно, что при этомъ всѣ выпуплости катящагося тѣла будутъ стремиться къ уничтоженію препятствія представляемаго вышесказанною точкою и треніе будетъ здѣсь происходить точно также, какъ и при скользящемъ движеніи. Тоже самое происходитъ и на оси колеса. По этому для уменьшенія тренія на осяхъ мы должны прибѣгать къ шлифовкѣ, къ смазыванію и другимъ средствамъ употребляемымъ при скользящемъ треніи.

Такъ какъ треніе на оси противодѣйствуетъ силѣ, побѣждающей треніе на ободѣ колеса, то должно опредѣлить, отъ какихъ обстоятельствъ зависитъ величина этого противодѣйствія. Положимъ, что мы имѣемъ два колеса *C* и *B* (фиг. 138 и 139), изъ которыхъ у послѣдняго ось вдвое больше нежели у перваго. Мы уже знаемъ, что отъ увеличенія поверхностей скользящихъ тѣлъ треніе не увеличивается; слѣдовательно хотя у колеса *B* поверхность оси увеличилась, но сила q, выражающая намъ величину тренія на его оси, останется таже какъ и на оси колеса *C*, имѣющаго вдвое меньшій радіусъ. Взявши моменты этихъ равныхъ силъ q и q, т. е. помноживши ихъ на ближайшее разстояніе отъ осей *o* и *o* найдемъ, что *дѣйствіе силы q* на колесо *B будетъ вдвое болѣе* противъ той же силы q, дѣйствующей на колесо *C* (3.4 для колеса *B* и 3.2 для колеса *C*). Слѣдовательно одна и таже сила *P*, преодолѣвающая треніе на ободьяхъ колесъ *C* и *B* будетъ претерпѣвать во второмъ колесѣ вдвое бо́льшее сопротивленіе отъ тренія на оси, нежели въ первомъ. А какъ увеличеніе этого сопротивленія произошло отъ увеличенія діаметра оси колеса *B*, то значитъ, что *дѣйствіе катящей силы* будетъ *тѣмъ выгоднѣе, чѣмъ тоньше ось колеса*, или чѣмъ діаметръ колеса болѣе противу діаметра оси. Впрочемъ при уменьшеніи діаметра оси должно обращать вниманіе на то, чтобы она могла выдерживать давленіе груза.

Фиг. 138. Фиг. 139.



Фиг. 140.

Чтобы уменьшить по возможности болѣе треніе осей во втулкахъ помѣщаютъ въ иныхъ машинахъ оси (фиг. 140) въ углубленіяхъ образуемыхъ ободьями двухъ колесъ заходящихъ другъ за друга. При вращеніи оси происходитъ также обращеніе колесъ, чрезъ что скользящее движеніе оси замѣняется катящимся.

Для уменьшенія тренія небольшихъ частей, производящихъ незначительныя движенія на одномъ и томъ же мѣстѣ даютъ имъ видъ клина, обращеннаго острымъ концомъ къ поверхности, на которой происходитъ движеніе.

Къ изложеннымъ нами законамъ тренія должно присовокупить, что треніе весьма мало зависитъ отъ увеличенія движенія и усиливается съ возвышеніемъ температуры при металлическихъ поверхностяхъ и съ влажностію при деревѣ.

Скажемъ теперь нѣсколько словъ объ устройствахъ экипажей, зависящемъ отъ тренія. — Если треніе весьма незначительно, какъ это бываетъ на желѣзныхъ дорогахъ, то наивыгоднѣйшее направленіе силы, производящей движеніе бываетъ въ томъ случаѣ, когда она параллельна къ дорогѣ. — При значительномъ же треніи выгоднѣе располагать дышло нѣсколько наклонно къ дорогѣ, потому что въ этомъ случаѣ тянущая сила p (фиг. 141) разлагается на двѣ составляющія: на одну параллельную къ дорогѣ m и производящую поступательное движеніе экипажа и на другую отвѣсную n; послѣдняя сила дѣйствуя прямо противоположно дѣйствію силы тяжести, уменьшаетъ давленіе экипажа на дорогу, а слѣдовательно уничтожаетъ отчасти и треніе.

Фиг. 141.

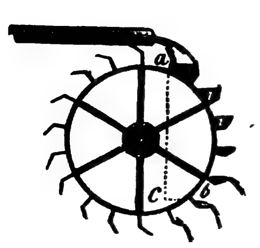
Законы равновѣсія силъ въ машинахъ.

Понятіе о машинахъ. § 80. *Для* произведенія различныхъ дѣйствій посредствомъ силъ, мы не всегда имѣемъ возможность непосредственно прилагать къ тѣламъ различныя силы, но въ большей части случаевъ приходится или измѣнять направленіе силы или измѣнять самый образъ дѣйствія ихъ, согласно какой нибудь опредѣленной цѣли — и въ каждомъ изъ этихъ случаевъ мы стараемся употреблять силы такимъ образомъ, *чтобы онѣ производили извѣстную работу при выгоднѣйшихъ для насъ условіяхъ.* Эти различныя видоизмѣненія силъ, употребляемыхъ нами, совершаются посредствомъ особеннаго рода орудій или приборовъ, называемыхъ *машинами.*

Положимъ напр., что мы можемъ располагать силой текущей воды. Чтобы приспособить эту силу, дѣйствующую по направленію прямой линіи къ производству вращательнаго движенія, заставляютъ ее ударять на свободно вращающееся колесо, которое и представляетъ намъ машину. Машины всегда составляются изъ мертвыхъ массъ, которыя не могутъ сами по себѣ, безъ участія дѣйствующихъ на нихъ силъ, приходить въ движеніе, а слѣдовательно и производить какую нибудь полезную работу. Работу эту можетъ производить только сила, приводящая въ движеніе машину и поэтому величина работы ни у одной машины не можетъ быть болѣе дѣйствующей на нее силы. При измѣреніи дѣйствія непрерывныхъ силъ мы уже имѣли случай видѣть, что одна и та же величина работы можетъ быть получена различнымъ образомъ. Слѣдовательно дѣйствіе машины должно заключаться только въ томъ, чтобы посредствомъ извѣстнаго напряженія силы производить опредѣленную работу, кототорая ни въ какомъ случаѣ не можетъ быть болѣе даннаго напряженія силы.

Положимъ, что при дѣйствіи водянаго колеса (фиг. 142) 20 кубическихъ футовъ воды могутъ, вслѣдствіе тяжести опускаться, на 8 футовъ книзу. Полагая каждый куб. футъ воды равнымъ 70 фунтамъ, мы получимъ, что 20 куб. футовъ будутъ вѣсить 35 пудовъ; слѣдовательно напряженіе воды въ секунду $= 35 \times 8$ или 280 пудофутамъ. Значитъ, при самомъ выгодномъ случаѣ можетъ быть сообщена колесу только эта величина работы, т. е. посредствомъ колеса, мы будемъ въ состояніи поднять въ секунду никакъ не болѣе 280 пудовъ на 1 футъ, или 28 пудовъ на 10 футовъ. Не должно упускать изъ виду, что эту работу собственно производитъ не колесо, но двигающая сила, именно вѣсъ падающей на колесо воды.

Фиг. 142.



Машина, приведенная въ движеніе по закону инерціи, должна бы продолжать это движеніе, но если при этомъ она встрѣтитъ препятствіе, то очевидно, что послѣднее или остановитъ движеніе машины, или потребуетъ для продолженія дѣйствія новой силы.

Опытъ показываетъ, что всѣ машины встрѣчаютъ сопротивленія своему движенію, между которыми главнѣйшую роль играетъ треніе; для преодолѣнія его, какъ мы уже сказали, необходимо извѣстное напряженіе силы, потому что безъ этого условія преодолѣніе тренія будетъ составлять само по себѣ работу, которая вмѣстѣ съ работою, составляющею цѣль машины, должна быть равна напряженію дѣйствующей силы. Слѣдовательно полезная работа каждой машины *всегда нѣсколько менѣе величины приложенной къ ней силы.*

Это истрачиваніе работы силы на преодолѣніе безполезныхъ сопротивленій, встрѣчаемыхъ при каждой машинѣ, показываетъ, что ни одно движущееся тѣло не въ состояніи передать своего движенія другому тѣлу въ такой степени, въ какой оно само получило его отъ двигающей силы. Положимъ, что движущееся тѣло извѣстною частію сообщенной ему силы, побѣждаетъ въ первый моментъ представляющіяся ему препятствія со стороны сопротивленія воздуха, тренія и др. причинъ. Если бы послѣ того препятствія не возобновлялись болѣе, то очевидно, что остальное напряженіе силы могло бы быть обращено прямо на полезное дѣйствіе. Но какъ сила уничтожаетъ только противодѣйствіе, представляемое препятствіями, а не причину ихъ, зависящую отъ самаго вещества тѣлъ, производящихъ движеніе и отъ нахожденія ихъ въ матеріальной срединѣ, то ясно, что вслѣдъ за побѣжденнымъ противодѣйствіемъ появляется новое, которое подобно прежнему для преодолѣнія своего потребуетъ новую часть изъ оставшагося напряженія силы. Такое постоянное возобновленіе препятствій должно наконецъ израсходовать все напряженіе дѣйствующей силы, если только она не будетъ получать новаго приростанія.

Изъ этого закона, которому подчиняются всѣ силы природы при дѣйствіи на тѣла, вытекаетъ прямо невозможность устройства такой

машины, которая по приведеніи ее въ движеніе продолжала бы двигаться безостановочно съ сообщенною ей скоростію, не требуя вовсе возобновленія дѣйствующей силы. Подобная машина была бы очевидно возможна только тогда, если бы не существовали препятствія къ движенію тѣлъ.

Не взирая на всю ясность и справедливость этого вывода, нѣкоторые занимаются устройствомъ подобной машины, извѣстной подъ названіемъ *машины вѣчнаго движенія* или *perpetuum mobile*. Люди, незнакомые съ основными законами дѣйствія силъ, придумывали для устройства perpetuum mobile многоразличные пріемы. Такъ наприм. старались устроивать части машины такимъ образомъ, чтобы движеніе одной части могло передаваться къ другой, отъ другой къ третьей, и т. д. до послѣдней, которая должна была дѣйствовать на первую, чрезъ что по ихъ мнѣнію долженъ былъ образоваться новый кругъ движенія.

Но какъ подобные пріемы конечно не могли привести къ достиженію предположенной цѣли, то стали отыскивать такъ называемую *увеличивающуюся силу*, которая во время дѣйствія на тѣло, вмѣстѣ съ тѣмъ могла бы постоянно увеличиваться. Такимъ образомъ одну нелѣпость замѣнили другою еще большею. Другіе же пытались примѣнить для этой цѣли силу магнитизма и электричества; но чѣмъ далѣе идутъ наши познанія объ этихъ силахъ, тѣмъ болѣе убѣждаемся мы, что и онѣ подвержены тѣмъ же неизмѣннымъ законамъ какъ и всѣ прочія.

Чтобы вывести по возможности проще законы дѣйствія силъ въ машинахъ, мы не будемъ обращать вниманія на самыя препятствія, встрѣчаемыя машинами при ихъ движеніи.

Главнѣйшая цѣль всякой машины, какъ мы уже сказали, состоитъ въ произведеніи извѣстной работы посредствомъ наивыгоднѣйшаго употребленія силы. Работа эта заключается въ побѣжденіи извѣстныхъ сопротивленій, которыя очевидно могутъ быть представлены въ видѣ силы, противодѣйствующей напряженію употребляемой нами силы. Такимъ образомъ на всякую машину мы можемъ смотрѣть какъ на тѣло, къ которому приложены двѣ противоположныя силы. Силу, употребляемую нами, принято называть въ этомъ случаѣ общимъ выраженіемъ — *сила*, а препятствіе, противодѣйствующее этой силѣ, носитъ названіе *сопротивленія*.

Но прежде изслѣдованія законовъ движенія покажемъ сперва, каково должно быть отношеніе между дѣйствующими силами для того, чтобы машина сохраняла равновѣсіе.

Отношеніе между силою и сопротивленіемъ во время равновѣсія машины называется *статическимъ отношеніемъ* силъ.

Зная это отношеніе, легко уже употреблять машину для произведенія извѣстнаго движенія, стоитъ только употребить такую силу, которая кромѣ преодоленія противоставляемаго ей сопротивленія, могла бы производить также движеніе или другое полезное дѣйствіе.

Справедливость этого мы можемъ пояснить слѣдующимъ примѣромъ:

Положимъ, что человѣкъ долженъ поднять пудовую гирю, лежащую на землѣ, на высоту 10 футовъ. Ясно, что онъ долженъ употребить сперва силу, которая была бы въ состоянiи преодолѣть дѣйствiе тяжести на гирю. Въ самый моментъ отдѣленiя гири отъ земли, дѣйствiе тяжести будетъ въ равновѣсiи съ силою человѣка и если при этомъ человѣкъ не увеличитъ напряженiя силы приложенной къ гири, то она ни насколько не поднимется кверху. Если же человѣкъ прибавитъ къ употребленной имъ силѣ самую незначительную часть новаго напряженiя, то очевидно, что это напряженiе и будетъ служить собственно для поднятiя гири. Понятно, что съ увеличенiемъ прибавленной силы, ускорится только время ея поднятiя.

§ 81. Машины бываютъ *простыя* и *сложныя*; первыя не имѣютъ никакихъ составныхъ частей, а сами входятъ въ составъ сложныхъ машинъ. Мы разсмотримъ только самыя обыкновенныя машины, имѣть понятiе о которыхъ весьма важно въ настоящее время по ихъ всеобщему употребленiю. Къ простымъ относятъ: *рычагъ*, *блокъ*, *воротъ*, *наклонную плоскость*, *клинъ* и *винтъ*. Различные виды машинъ.

Мы будемъ сперва выводить статическое отношенiе для машинъ, разсматривая послѣднiя въ математическомъ смыслѣ, т. е. безъ дѣйствiя на нихъ силы тяжести.

I. Простыя машины.

§ 82. Представимъ себѣ, что какой нибудь негибкiй прутъ опирается одною точкою на какую нибудь постороннюю неподвижную матерiальную точку и что къ другой точкѣ этого прута приложена сила для противодѣйствiя извѣстному сопротивленiю, дѣйствующему на произвольную точку прута. При подобныхъ условiяхъ прутъ этотъ носитъ названiе *рычага*. Изъ этого опредѣленiя слѣдуетъ, что неотъемлемую, существенную принадлежность рычага должны составлять три точки: *точка опоры рычага*, *точка приложенiя силы* и *точка приложенiя сопротивленiя*. Рычагъ.

Эти три точки могутъ мѣняться своими мѣстами относительно другъ друга. Но главнѣйшiя измѣненiя заключаются собственно въ измѣненiи положенiя точки опоры относительно силы и сопротивленiя.

Или точки приложенія силы и сопротивленія находятся по концамъ рычага, а точка опоры между ними (фиг. 143), или сила и сопротивленіе приложены по одну сторону отъ точки опоры (фиг. 144 и 145). При послѣднемъ расположеніи могутъ быть два случая, смотря потому, что ближе походится къ точкѣ опоры, сила или сопротивленіе. Разстояніе между точкою опоры и точкою приложенія силы или сопротивленія называется *плечомъ* рычага.

Фиг. 143.

Фиг. 144.

Фиг. 145.

Роды рычага.

§ 83. Разсматривая различіе рычаговъ относительно точки опоры не трудно замѣтить, что послѣдняя точка принимаетъ въ рычагахъ только два положенія: или она находится между точками приложенія силы и сопротивленія, или по одну какую либо сторону отъ нихъ. Поэтому рычаги раздѣляютъ *собственно* на два рода — на *рычаги перваго рода*, въ которыхъ точка опоры лежитъ между точками приложенія силъ и сопротивленія, и на *рычаги втораго рода*, въ которыхъ точки приложенія силы и сопротивленія лежатъ по одну сторону отъ точки опоры. Перваго рода рычаги называются также *двуплечими*, а втораго рода — *одноплечими*.

Какъ въ одноплечихъ, такъ и въ двуплечихъ рычагахъ, точка опоры можетъ находиться на одной прямой линіи съ точками приложенія силы и сопротивленія. Такого вида рычаги называются *прямыми*, въ отличіе отъ *колѣнчатыхъ* и *криволинейныхъ*, въ которыхъ линія, соединяющая эти точки, бываетъ или ломаная или кривая.

Изъ сказаннаго нами не трудно понять, что подъ математическимъ рычагомъ должно разумѣть негибкую линію, соединяющую три точки, которыя составляютъ существенную принадлежность всякаго рычага: точку опоры и точки приложенія силы и сопротивленія.

Условія равновѣсія рычага при дѣйствіи двухъ силъ.

§ 84. Мы уже знаемъ изъ § 48, что произведеніе изъ силы на отвѣсную проведенную изъ какой нибудь точки на направленіе силы называется статическимъ моментомъ этой силы относительно той точки, изъ которой опущена отвѣсная линія и что кромѣ того статическіе моменты двухъ пересѣкающихся или параллельныхъ силъ (§ 49) относительно каждой точки ихъ равнодѣйствующей должны быть равны между собою.

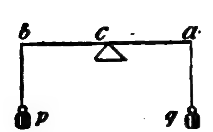
Помня это, легко вывести условіе равновѣсія рычага при дѣйствіи на него двухъ силъ. И въ самомъ дѣлѣ, равновѣсіе на математическомъ рычагѣ возможно въ томъ случаѣ, когда равнодѣйствующая силъ, дѣйствующихъ на этотъ рычагъ, проходитъ чрезъ точку опоры его, если только въ этомъ случаѣ дѣйствіе равнодѣйствующей можетъ уничтожаться сопротивленіемъ неподвижной оси вращенія рычага. Такъ что, если мы назовемъ силы, дѣйствующія на рычагъ, чрезъ P и Q, а перпендикуляры, проведенные изъ точки опоры на направленія силъ или ближайшія разстоянія послѣднихъ отъ точки

опоры чрезъ a и b, то несмотря на родъ и самую форму рычаговъ для равновѣсія ихъ будемъ имѣть слѣдующее равенство: $Pa = Qb$ или $P : Q = b : a$, т. е. одна сила относится къ другой, какъ разстояніе послѣдней до точки опоры къ разстоянію точки приложенія первой до точки опоры рычага. Силы, дѣйствуя на рычагъ, стараются привести его въ движенія противоположныя одно другому. Очевидно, что равновѣсіе при этомъ возможно тогда, когда дѣйствіе производимое одною силою уничтожаетъ дѣйствіе другой силы. Моменты силъ, выражающіе стремленіе силъ привести рычагъ въ вращательное движеніе, называются *моментами вращенія*. Отсюда видно, что способность силы привести рычагъ въ вращательное движеніе не зависитъ только отъ величины силы, но также отъ перпендикуляра проведеннаго отъ точки вращенія до точки приложенія силы или, говоря другими словами, отъ ближайшаго разстоянія первой точки до второй.

§ 85. Разсмотримъ сперва *двуплечій* математическій рычагъ. При этомъ могутъ быть два случая: или плеча рычага равны между собою, или одно плечо длиннѣе другаго. Въ первомъ случаѣ рычагъ принимаетъ названіе *равноплечаго*, а во второмъ — *неравноплечаго*. Двуплечій рычагъ.

а) *Равноплечій рычагъ.* Его точка опоры лежитъ посрединѣ въ c.

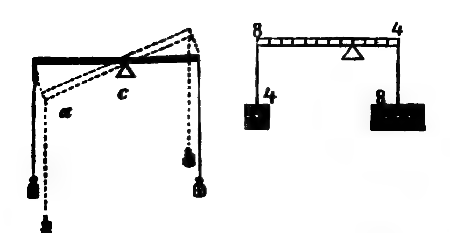
Фиг. 146.



Такъ какъ колѣна bc и ca равны, то очевидно въ этомъ случаѣ невозможно меньшею силою держать въ равновѣсіи большую. Поэтому *на равноплечемъ рычагѣ сила должна быть равна сопротивленію.* Если длина каждаго плеча, положимъ, равна 3-мъ футамъ, а сопротивленіе равно 6 фунтамъ, то и сила должна быть = 6 фунтамъ, для того чтобы получить для статическаго момента равныя произведенія $(6 \times 3 = 3 \times 6)$.

б) *Неравноплечій* рычагъ, какъ мы сказали, есть такой, гдѣ одно плечо длиннѣе другаго. Ежели при этомъ случаѣ обѣ гири равны

Фиг. 147. *Фиг.* 148.



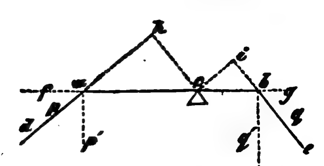
(для большей ясности силы представлены гирями), то очевидно, что рычагъ не можетъ быть въ равновѣсіи и приметъ не горизонтальное, но наклонное положеніе, обозначенное на фиг. 147 точками. Для приведенія его въ горизонтальное положеніе необходимо припомнить себѣ условія равновѣсія двухъ параллельныхъ силъ, приложенныхъ отвѣсно къ двумъ неизмѣнно соединеннымъ точкамъ. Мы знаемъ, что эти силы могутъ быть только тогда въ равновѣсіи, когда моменты ихъ равны, т. е. $P \times ac = Q \times bc$, гдѣ P и Q представляютъ силы, изъ которыхъ мы можемъ одну принять за дѣйствующую силу, а другую за сопротивленіе. Условія эти соблюдены на фиг. 148, потому что здѣсь произведенія 4×8 и 8×4 равны между собою.

Если же на неравноплечій рычагъ дѣйствуютъ двѣ параллельныя силы не въ перпендикулярномъ къ нему направленіи, а по направленіямъ Ax и By, наклоннымъ къ рычагу AB, то чтобы опредѣлить моменты силъ дѣйствующихъ на рычагъ, стоитъ только изъ точки C опустить на направленія силъ перпендикуляры CD и CE. Геометрія показываетъ намъ, что треугольники ACD и BCE подобны между собою, а слѣдовательно стороны этихъ треугольниковъ пропорціональны. Поэтому имѣемъ слѣдующую пропорцію: $CE : CD = BC : AC$, а потому $P : Q = BC : AC$, т. е. силы обратно пропорціональны соотвѣтствующимъ имъ плечамъ.

Фиг. 149.

Разсмотримъ теперь двуплечій рычагъ въ томъ случаѣ, когда сила и сопротивленіе дѣйствуютъ не параллельно одна къ другой. На рычагъ *ab* (фиг. 150), котораго точка опоры находится въ *c*, дѣйствуютъ силы *p* и *q* по направленіямъ *ad* и *be*. Представимъ себѣ силу *ad* или *p* разложенною на двѣ силы, изъ которыхъ одна *af* дѣйствуетъ по направленію рычага *ab*, а другая *ap'* перпендикулярно къ рычагу. Точно также разложимъ и силу *q* на двѣ — одну *bg*, дѣйствующую по направленію рычага, и другую *bq'* перпендикулярную къ рычагу. Силы *af* и *bg*, нисколько не нарушая равновѣсія рычага, уничтожаются сопротивленіемъ точки опоры; слѣдовательно на рычагъ собственно будутъ дѣйствовать только двѣ силы *ap'* и *bq'*. Но мы уже знаемъ, что равновѣсіе произойдетъ тогда, когда сила *q'* будетъ во столько разъ больше *p'*, во сколько плечо *cb* меньше плеча *ac*, т. е. $q' : p' = ac : bc$.

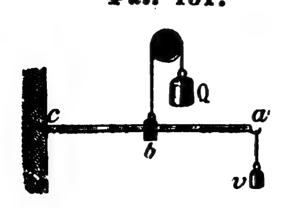
Фиг. 150.



Изъ приведеннаго нами разсужденія очевидно, что когда силы дѣйствуютъ косвенно на рычагъ, то часть ихъ теряется, такъ что если бы эти же самыя силы дѣйствовали на рычагъ кратчайшій, но перпендикулярно къ рычагу *ab*, то оказывали бы одинаковое дѣйствіе, несмотря на то, что рычагъ взятый нами былъ короче, а слѣдовательно при менѣе выгодныхъ условіяхъ. Если бы мы захотѣли опредѣлить этотъ короткій рычагъ, соотвѣтствующій рычагу *ab*, то стоитъ только продолжить направленіе силъ до тѣхъ поръ, пока направленія ихъ не будутъ перпендикулярны къ линіямъ соединяющимъ точку опоры съ точками приложенія силъ. Эти линіи на нашемъ чертежѣ представлены буквами *ch* и *ci*. Слѣдовательно дѣйствіе силъ *p* и *q* будетъ одно и то же, дѣйствуютъ ли онѣ на колѣнчатый рычагъ *hci* подъ прямыми углами, или косвенно на прямой рычагъ *acb*.

Одноплечій рычагъ. **§ 86.** Изъ общаго разсмотрѣнія рычаговъ мы видѣли, что одноплечими рычагами называются такіе, у которыхъ сила и сопротивленіе приложены по одну сторону отъ точки опоры рычага. Такъ на фиг. 151 представленъ одноплечій рычагъ, точка опоры котораго находится въ *c*, сила *v* (и сила и сопротивленіе для большей ясности представлены гирями) дѣйствуетъ въ точкѣ *a*, а сопротивленіе *Q* въ точкѣ *b*; при чемъ сила *v* тянетъ рычагъ книзу, а сила *Q* поднимаетъ рычагъ кверху; направленія обѣихъ силъ перпендикулярны къ рычагу, а слѣдовательно параллельны между собою. Очевидно, что при равновѣсіи рычага равнодѣйствующая сила равная $v - Q$, пройдетъ чрезъ точку опоры

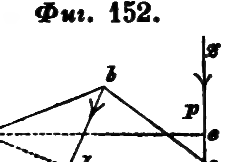
Фиг. 151.



т. е. c; а потому по теоріи параллельныхъ силъ получимъ слѣдующее равенство моментовъ силъ: $v . ac = Q . bc$; или $v : Q = bc : ac$. Такъ что, если ac въ два раза болѣе линіи bc, то гирею v вѣсомъ въ 5 фунтовъ мы будемъ въ состояніи уравновѣсить гирю въ 10 фунтовъ.

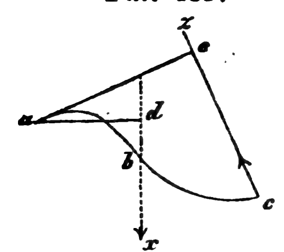
Если припомнимъ себѣ, какимъ образомъ находили мы моменты силъ для рычага перваго рода, когда силы дѣйствуютъ въ косвенномъ къ рычагу направленіи, то подобнымъ же образомъ найдемъ моменты силъ для рычаговъ втораго рода, имѣющихъ угловатую и изогнутую форму.

Фиг. 152.



Пусть abc (фиг. 152) есть рычагъ втораго рода, точка опоры котораго находится въ a, сопротивленіе Q дѣйствуетъ на точку b по направленію bx, а сила P по направленію xc. Опустивъ перпендикуляръ ad на bd и ae на cx, получимъ для моментовъ силъ произведенія $P \times ae$ и $Q \times ad$, которые во время равновѣсія рычага должны быть равны, т. е. $P \times ae = Q \times ad$.

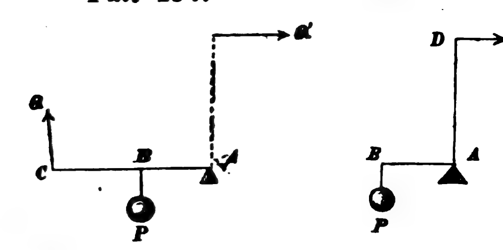
Фиг. 153.



Точно такія же условія существуютъ и для равновѣсія криволинейныхъ рычаговъ. На фиг. 153 представленъ криволинейный рычагъ abc, точка опоры котораго находится въ a, по направленію bx дѣйствуетъ внизъ одна сила, а другая вверхъ по направленію cz. Опустивъ на направленія силъ перпендикуляры ad и ae и помноживъ ихъ на соотвѣтствующія имъ силы, получимъ моменты силъ.

§ 87. Условія равновѣсія въ колѣнчатомъ рычагѣ тѣже самыя, какъ и въ предъидущихъ рычагахъ. Представимъ себѣ рычагъ втораго рода ABC (фиг. 154), точка опоры котораго находится въ A, въ C приложена сила Q, а въ B сопротивленіе P. Очевидно, что рычагъ ABC будетъ сохранять равновѣсіе въ томъ случаѣ, когда $P . AB$ равно $Q . AC$. Представимъ себѣ теперь колѣнчатый рычагъ BAD (фиг. 155), у котораго сила и сопротивленіе тѣже самыя, какъ и въ предъидущемъ случаѣ и вся разница только въ томъ, что сила Q приложена не къ оконечности линіи CA, но къ оконечности равной ей линіи AD. Если въ выведенномъ нами прежде равенствѣ $P . AB = Q . AC$, замѣнимъ величины Q и AC одинаковыми съ ними величинами Q' и AD, то получимъ, что $P . AB$ будетъ равно $Q' . AD$. Но какъ произведенія эти выражаютъ моменты силъ, дѣйствующихъ на колѣнчатый рычагъ, то очевидно, что при равенствѣ этихъ моментовъ колѣнчатый рычагъ будетъ находиться въ равновѣсіи. Колѣнчатый рычагъ.

Фиг. 154. Фиг. 155.



Колѣнчатый рычагъ употребляется въ томъ случаѣ, когда хотятъ измѣнить направленіе силы; такъ напр. дѣйствуя на рычагъ въ вертикальномъ направленіи, можемъ доставить сопротивленію движеніе по горизонтальной линіи.

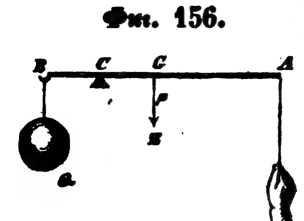
Условія равновѣсія рычага при дѣйствіи нѣсколькихъ силъ.

§ 88. Разсмотрѣвъ всѣ роды математическихъ рычаговъ, намъ еще остается сказать о равновѣсіи рычаговъ въ томъ случаѣ, когда на нихъ дѣйствуютъ не двѣ, а нѣсколько силъ. Если это рычагъ перваго рода, то положимъ, что нѣсколько силъ дѣйствуютъ по одну сторону точки опоры и нѣсколько силъ по другую сторону; на рычагѣ же втораго рода мы должны допустить, что однѣ силы дѣйствуютъ по направленію внизъ, а другія вверхъ. Но очевидно, что какъ въ томъ, такъ и въ другомъ случаѣ равновѣсіе рычага требуетъ, чтобы сумма моментовъ силъ, дѣйствующихъ по направленію другъ къ другу, была равна суммѣ моментовъ противодѣйствующихъ первымъ силамъ. Подобный случай намъ встрѣтится при разсмотрѣніи физическихъ рычаговъ.

Во всѣхъ рычагахъ, какого бы рода и вида они ни были, мы постоянно видѣли, что во время равновѣсія моменты дѣйствующихъ силъ должны быть равны. Такъ, если мы означимъ силы чрезъ P и Q, а соотвѣтствующія имъ ближайшія разстоянія отъ точки опоры чрезъ a и b, то имѣемъ $P \, . \, a = Q \, . \, b$. Откуда получаемъ, что $P = \frac{Q \, . \, b}{a}$. Равенство это намъ показываетъ, что на рычагахъ тѣмъ болѣе требуется напряженія силы, чѣмъ менѣе соотвѣтствующее ей плечо рычага. Поэтому въ рычагахъ втораго рода, никогда сила не можетъ быть равна сопротивленію, если онѣ не приложены въ одной точкѣ, но всегда болѣе или менѣе сопротивленія, смотря потому, ближе или далѣе противу сопротивленія отстоитъ дѣйствующая сила отъ точки опоры.

§ 89. До сихъ поръ мы разсматривали условія равновѣсія на рычагахъ математическихъ; посмотримъ теперь можно ли тѣже самыя условія примѣнить и къ *физическимъ рычагамъ*. Все различіе между тѣми и другими рычагами заключается въ томъ, что физическій рычагъ есть матеріальный прутъ, слѣдовательно подверженный дѣйствію силы тяжести. Сила тяжести, какъ мы уже знаемъ, дѣйствуетъ на каждую матеріальную точку всякаго тѣла. Поэтому мы можемъ разсматривать физическій рычагъ какъ совокупность матеріальныхъ частицъ, изъ которыхъ на каждую дѣйствуетъ сила тяжести по отвѣсному направленію. Такъ какъ направленія этихъ дѣйствій тяжести на каждую частицу параллельны между собою, то мы можемъ замѣнить ихъ равнодѣйствующей, приложенной къ центру этихъ параллельныхъ силъ, который и будетъ такъ называемый центръ тяжести рычага. Поэтому, разсматривая дѣйствіе двухъ какихъ нибудь силъ на рычагъ, мы должны имѣть въ виду еще третью силу, приложенную къ центру тяжести рычага. Если послѣдняя точка совпадаетъ съ точкою опоры, то очевидно, что сила тяжести не будетъ оказывать никакаго вліянія на равновѣсіе рычага. Но когда эти двѣ точки не совпадаютъ между собою, то понятно, что сила тяжести должна принимать участіе въ равновѣсіи рычага. Назовемъ силу дѣйствующую на рычагъ

Фиг. 156.



чрезъ P, а сопротивленіе чрезъ Q (фиг. 156). Положимъ, что центръ тяжести рычага находится въ G и что дѣйствіе силы тяжести на рычагъ равно p. Слѣдовательно во время равновѣсія мы можемъ разсматривать рычагъ этотъ какъ рычагъ математическій, къ которому приложены три силы P, B и p.

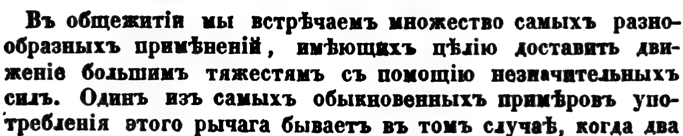
Чтобы получить моменты всѣхъ этихъ силъ, надобно провести перпендикуляры отъ точки C къ направленіямъ силъ; обозначимъ длины перпендикуляровъ чрезъ a, b и c, и представимъ себѣ силу Q состоящею изъ q и q', изъ которыхъ первая удерживается въ равновѣсіи силою P, а вторая силою p; такъ что $P.a = q.b$ или $p.c = q'.b$, откуда $Pa + pc = (q + q')b = Q.b$, т. е. сумма моментовъ силъ, дѣйствующихъ по одну сторону рычага во время равновѣсія, должна быть равна моменту силы, дѣйствующей по другую сторону рычага.

Эти условія равновѣсія никогда не должно упускать изъ виду при опредѣленіи величины силъ прилагаемыхъ къ рычагамъ. Условіями равновѣсія физическаго рычага объясняются многія явленія, кажущіяся съ перваго взгляда противорѣчащими съ общими законами равновѣсія рычаговъ. Такъ напр. почему, когда мы ничего не держимъ въ рукѣ, все таки требуется употребить извѣстное усиліе для поднятія ея? Причина этого обстоятельства очевидно заключается въ вѣсѣ руки, центръ тяжести которой, какъ у всякаго одноплечаго рычага, не совпадаетъ съ точкою опоры.

Примѣры употребленія рычаговъ въ общежитіи.

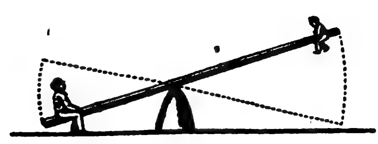
§ 90. Примѣненіе равноплечаго рычага мы видимъ на человѣкѣ (фиг. 157) несущемъ два ведра, привѣшанныя къ концамъ коромысла, средина котораго лежитъ на плечѣ. Тоже самое представляютъ намъ вѣсы и блоки, устройство которыхъ будетъ объяснено нами ниже. Примѣненія рычаговъ.

Фиг. 157.



Въ общежитіи мы встрѣчаемъ множество самыхъ разнообразныхъ примѣненій, имѣющихъ цѣлію доставить движеніе большимъ тяжестямъ съ помощію незначительныхъ силъ. Одинъ изъ самыхъ обыкновенныхъ примѣровъ употребленія этого рычага бываетъ въ томъ случаѣ, когда два мальчика (фиг. 158), различнаго возраста и имѣющіе различный вѣсъ, качаютъ другъ друга на доскѣ. Для этого они садятся на нее такимъ образомъ, чтобы на сторонѣ легчайшаго изъ нихъ была большая часть доски.

Фиг. 158.





Изъ числа прочихъ примѣненій неравноплечаго рычага, мы обратимъ вниманіе на слѣдующія:

Ломъ (фиг. 159), служащій для поднятія камней, состоитъ изъ прямаго желѣзнаго бруса, который иногда нѣсколько сплющивается на одномъ концѣ и загибается. Этотъ сплющенный конецъ лома подкладываютъ подъ тяжесть, назначенную для поднятія или поворачиванія; точкою опоры въ этомъ случаѣ можетъ служить земля, подложенный камень, а также кусокъ дерева; рука человѣка, приложенная къ другому концу лома, служитъ двигающею силою.

Фиг. 159.



Обыкновенныя *ножницы* и *щипцы* состоятъ изъ соединенія неравноплечихъ рычаговъ; точки опоры — стержень, на которомъ обращаются обѣ половинки ножницъ или щипцовъ. Сопротивленіе происходитъ отъ сдавливанія или разрѣзыванія вещей, а рука, производящая давленіе на противоположные концы двухъ рычаговъ, составляетъ дѣйствующую силу. Орудія эти до того употребительны, что мы считаемъ излишнимъ помѣщать ихъ рисунки. Каждый можетъ повѣрить сказанное нами на опытѣ. Многія мельницы приводятся въ движеніе посредствомъ длиннаго горизонтальнаго рычага, къ одному концу котораго припряжены лошади для доставленія движенія другому концу, соединяющемуся съ отвѣснымъ валомъ. Посредствомъ обращенія послѣдняго приводятся въ дѣйствіе колеса всей мельницы. Кромѣ того, неравноплечій рычагъ употребляется для поднятія тяжестей съ возовъ, кораблей, а также для ихъ нагруженія.

Сюда же принадлежатъ: корабельный руль, шлагъ-баумъ и безмѣнъ, о которомъ мы подробно будемъ говорить впослѣдствіи. Движенія головы нашей принадлежатъ къ движеніямъ рычаговъ 1-го рода; точка опоры головы находится въ мѣстѣ соединенія затылочной кости съ позвоночнымъ столбомъ, сила заключается въ прикрѣпленномъ къ затылочной кости мускулѣ, который не позволяетъ головѣ слишкомъ наклоняться впередъ, а сопротивленіе составляетъ вѣсъ головы.

Здѣсь плечо рычага, къ которому приложена сила, короче другаго плеча и потому при движеніи головы мы должны употреблять силу большую въ сравненіи съ сопротивленіемъ. Кромѣ того, какъ примѣръ рычаговъ перваго рода въ человѣческомъ тѣлѣ, мы помѣщаемъ (фиг. 160) ступню человѣка, точка опоры которой находится въ i, дѣйствующая сила направлена по линіи h, по направленію указанному стрѣлкою u, а сопротивленіе дѣйствуетъ въ точкѣ g.

Фиг. 160.



Фиг. 161.



Примѣненіе колѣнчатаго рычага мы встрѣчаемъ при выдергиваніи гвоздей посредствомъ молотка (фиг. 161); гвоздь представляетъ здѣсь сопротивленіе, рука силу, а точка опоры находится въ промежуткахъ между ними.

—

a. *Когда сопротивленіе дѣйствуетъ между точкою опоры и точкою приложенія силы.*

Весла лодочныхъ гребцовъ (фиг. 162) представляютъ примѣръ этого рычага, потому что при дѣйствіи ими точкою опоры служитъ вода, противу которой дѣйствуетъ плоская часть весла; сила въ рукахъ гребца, а сопротивленіе представляетъ вся подвигаемая впередъ масса судна, приложенная въ той точкѣ, гдѣ весло упирается о бортъ.

Фиг. 162.

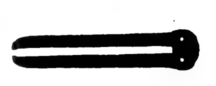


Фиг. 163.



Сюда же относится подвижной рѣзакъ (фиг. 163), прикрѣпленный однимъ концемъ къ скамейкѣ посредствомъ шарнира; солома, табакъ и прочіе предметы, назначенные для рѣзанія, помѣщаются между шарниромъ и другимъ концемъ рѣзака или ручкою, за которую берется человѣкъ, чтобы разрѣзывать или крошить различныя тѣла.

Фиг. 164.



Орѣшныя *щипчики* (фиг. 164) состоятъ изъ двухъ одноплечихъ рычаговъ, соединенныхъ шарниромъ, который представляетъ точку опоры.

Фиг. 165.

Тачка (фиг. 165) есть тоже одноплечій рычагъ; лежащая въ ней тяжесть давитъ книзу; сила, доставляемая оглоблямъ, дѣйствуетъ кверху, а точка опоры находится на оси колеса. Хотя тачки и бываютъ различныхъ видовъ, но въ сущности устройство ихъ, основанное на рычагѣ, остается одно и тоже.

Обыкновенныя двери представляютъ также рычагъ этого рода; точка опоры ихъ находится въ томъ мѣстѣ, гдѣ двери посредствомъ петлей прикрѣплены къ стѣнѣ.

—

b. *Когда сила приложена между точкою опоры и точкою приложенія сопротивленія.*

Перо, карандашъ, грифель и другіе приборы, употребляемые для письма и черченія, относятся къ рычагамъ этого рода, потому что точка опоры здѣсь находится въ верхней части, сопротивленіе на другомъ концѣ при бумагѣ, а сила между этими двумя точками, въ томъ мѣстѣ, гдѣ пальцы держатъ перо, карандашъ или другую какую нибудь вещь, употребляемую для этой цѣли.

Въ природѣ весьма часто встрѣчаются рычаги, относящіеся къ этому разряду. Такъ напр. у большей части животныхъ и въ особенности у человѣка мы почти исключительно видимъ рычаги этого рода въ органахъ движенія. Главнѣйшимъ основаніемъ этихъ органовъ служатъ кости, производящія движенія посредствомъ сокращенія и растяженія прикрѣпленныхъ къ нимъ мышцъ. Разберемъ для примѣра человѣческую руку; для этого разсмотримъ сперва, кости входящія въ составъ руки нашей: самая верхняя

кость, сочленяющаяся съ туловищемъ и оканчивающаяся локтемъ, называется плечевою костію; далѣе отъ локтя до ладони слѣдуютъ 2 кости параллельно одна другой — локтевая и лучевая кости; потомъ — кости ладони и пальцевъ. На лучевой кости находится возвышеніе *b* (фиг. 166), къ которому прикрѣпляется двуголовый мускулъ, а къ возвышенной части локтя въ точкѣ *c* прикрѣпляется трехголовый мускулъ; точка же *a*, находящаяся въ сочлененіи плечевой кости съ нижними, представляетъ опору рычага. На ладони находится грузъ *w*, общій центръ тяжести этого шара и костей находится положимъ въ точкѣ *d*. И такъ, въ точкахъ *b* и *c* приложены силы, въ *d* сопротивленіе, а точка опоры находится въ *a*, такъ что *da* представляетъ плечо, соотвѣтствующее тяжести, а *ba* и *ca* плечи, соотвѣтственныя дѣйствующимъ силамъ. Все это вмѣстѣ составитъ два угловыхъ рычага *bad* и *cad*, въ которыхъ дѣйствіе силы будетъ происходить какъ въ рычагѣ втораго рода.

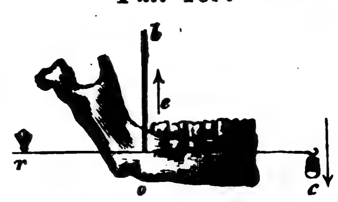
Фиг. 166.



Поэтому, дѣйствуя руками, мы всегда употребляемъ силу большую сопротивленія, и отношеніе это между силой и сопротивленіемъ, измѣняется по мѣрѣ перемѣщенія положенія тяжести. Такъ напр. для поддержанія тяжести висящей близь локтя, намъ должно употребить меньшее усиліе противу того случая, когда мы поддерживаемъ тяжесть пальцами; вотъ почему даже дѣти обыкновенно при переноскѣ тяжестей въ рукѣ, такъ сказать инстинктивно, подвигаютъ ихъ ближе къ локтю.

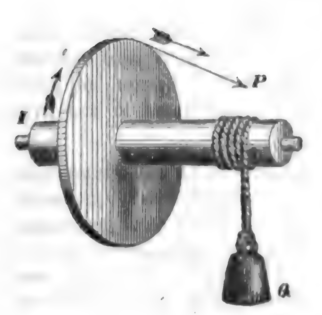
Сюда же относится нижняя челюсть, точка опоры которой находится при соединеніи ея съ височною костію; сила приложена въ томъ мѣстѣ, гдѣ прикрѣпленъ жевательный мускулъ, а сопротивленіе представляетъ пища; поэтому если хотимъ раскусить какое нибудь твердое тѣло, то кладемъ его на задніе зубы, сокращая тѣмъ самымъ длину плеча рычага, соотвѣтствующаго сопротивленію. Для большей ясности на фиг. 167 представлена нижняя челюсть, точка опоры которой находится въ *r*, сила дѣйствуетъ по линіи *bo* въ направленіи указанномъ стрѣлкою *e*, а въ *c* приложено сопротивленіе.

Фиг. 167.



Воротъ. § 91. Воротъ состоитъ изъ цилиндра, называемаго валомъ, къ которому прикрѣплено колесо такимъ образомъ, что оси того и другаго находятся на одной линіи. На валѣ обыкновенно намотана веревка (фиг. 168), къ которой привѣшенъ грузъ *Q*; на колесо же дѣйствуетъ сила *P* или посредствомъ веревки или посредствомъ придѣланныхъ къ нему спицъ. Воротъ по положенію вала называется или *горизонтальнымъ* или *вертикальнымъ*. На предъидущей фигурѣ представленъ воротъ въ горизонтальномъ положеніи.

Фиг. 168.



На фиг. 169 представленъ воротъ въ поперечномъ разрѣзѣ; внутренній кружокъ изображаетъ разрѣзъ вала, а наружный—разрѣзъ колеса. Сила p приложена въ точкѣ d и дѣйствуетъ по направленію касательному къ колесу; а сопротивленіе Q приложено въ точкѣ b; точка c представляетъ разрѣзъ оси ворота. Слѣдовательно линію bcd мы можемъ разсматривать какъ двуплечій рычагъ, точка опоры котораго находится въ c, а въ b и d приложены силы p и Q, дѣйствующія перпендикулярно къ плечамъ рычага; а потому для силъ p и Q мы получимъ на воротѣ слѣдующее отношеніе $p:Q = bc:cd$, т. е. *сила относится къ сопротивленію какъ радіусъ вала къ радіусу колеса.*

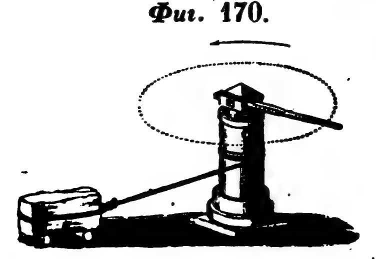
Фиг. 169.

Очевидно, что тоже самое отношеніе мы получили бы, гдѣ бы не приложили силу на окружности колеса, такъ напр. еслибы въ точкѣ d' была приложена сила p' равная предъидущей, то мы получили бы слѣдующую пропорцію: $p':Q = bc:cd'$, но cd и cd' какъ радіусы одного и того же круга равны между собою, слѣдовательно мы получили бы тоже самое отношеніе какъ и въ предъидущемъ случаѣ.

Если бы какая нибудь сила r дѣйствовала по направленію, не касательному къ окружности, а напр. по направленію $d'h$, то для опредѣленія отношенія между силою r и тяжестію Q стоитъ только провести отъ c линію перпендикулярную къ линіи dh; мы получимъ тогда рычагъ bcg, на которомъ отношеніе силы къ сопротивленію будетъ обусловлено слѣдующею пропорціею $r:Q = bc:cg$. Въ этомъ случаѣ выигрышъ въ силѣ очевидно менѣе выгоденъ, нежели въ предъидущемъ, когда сила дѣйствовала по направленію касательному къ окружности колеса, потому что линія cg менѣе линіи cd или cd'.

На фиг. 170 представленъ вертикальный воротъ, употребляемый обыкновенно для движенія большихъ тяжестей, которыя привязываютъ къ валу. Горизонтальный же воротъ употребляется для вытаскиванія руды изъ глубокихъ рудниковъ, воды изъ колодцевъ, также при движеніи кораблей и во многихъ другихъ случаяхъ. Колеса водяныхъ и крылья вѣтреныхъ мельницъ, представляютъ колеса различныхъ воротовъ.

Фиг. 170.



§ 92. Блокъ есть кружокъ, обращающійся на оси, проходящей Блокъ.
чрезъ его центръ; на окружности блока находится жолобъ, на которомъ обвита веревка. Если ось блока неподвижна, то и блокъ называется *неподвижнымъ*; если же ось, а слѣдовательно и блокъ, перемѣняетъ свое положеніе, то онъ называется *подвижнымъ*. Разсмотримъ отношеніе силы къ сопротивленію въ обоихъ случаяхъ.

Неподвижный блокъ. Здѣсь силы *p* и *q* (фиг. 171) дѣйствуютъ на двѣ точки *a* и *b*; линія же *acb* представляетъ собою не иное что, какъ равноплечій рычагъ, точка опоры котораго находится въ *c*. При употребленіи неподвижнаго блока нисколько не выигрывается въ силѣ; онъ доставляетъ намъ только возможность прилагать силу въ произвольномъ направленіи соотвѣтственно какой либо опредѣленной цѣли; какъ наприм. для доставленія воды изъ колодцевъ.

Фиг. 171.



Съ большою пользою употребляется неподвижный блокъ при подниманіи тяжестей на какую либо высоту; положимъ напр., что нужно было бы поднять извѣстную тяжесть на крышу дома, то вмѣсто того, чтобы взойти на крышу и непосредственно тянуть грузъ, гораздо удобнѣе, какъ это обыкновенно и дѣлаютъ, поднять ее посредствомъ неподвижнаго блока. Посредствомъ же неподвижнаго блока можно подниматься до извѣстной высоты и опускаться до произвольной глубины; стоитъ только къ одному концу веревки прикрѣпить стулъ, сѣсть на него, а другой конецъ веревки взять въ руки (фиг. 172) и такимъ образомъ, употребляя силу большую въ сравненіи съ вѣсомъ нашего тѣла, можемъ опускаться или подниматься. Подобный способъ употребляетъ весьма часто пожарная прислуга при спусканіи съ высокихъ зданій.

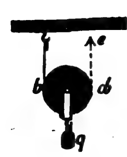
Фиг. 172.



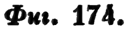
Подвижной блокъ отличается отъ неподвижнаго тѣмъ, что веревка обхватываетъ его снизу и одинъ конецъ ея укрѣпляется неподвижно, а на другой дѣйствуетъ сила; сопротивленіе же прикрѣпляется къ обоймицѣ, которая привѣшена къ оси блока *c*. Посмотримъ, какъ относится сила къ сопротивленію въ томъ случаѣ, когда сила дѣйствуетъ по направленію *параллельному* другому концу веревки.

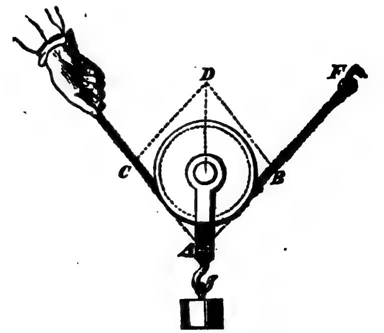
На фиг. 173 изображенъ такой подвижной блокъ; ясно, что блокъ этотъ представляетъ собою одноплечій рычагъ, точка опоры котораго находится въ *b*; гиря *q*, приложенная въ *c*, тянетъ его книзу, а на удвоенномъ разстояніи *bc* у точки *d*, извѣстная сила *e* дѣйствуетъ кверху. Такъ какъ послѣдняя сила приложена къ блоку на удвоенномъ разстояніи, то очевидно, что здѣсь сила можетъ удерживать въ равновѣсіи сопротивленіе, которое равно двойной силѣ, т. е. если на подвижномъ блокѣ *оба конца веревки параллельны*, то во время равновѣсія *сила равна половинѣ сопротивленія*.

Фиг. 173.



Фиг. 174.



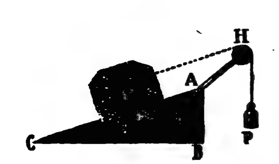


Если же концы веревки *не параллельны* другъ другу, то блокъ представляетъ меньшій выигрышъ въ силѣ. На фигурѣ 174 представленъ такой блокъ; въ *F* прикрѣпленъ одинъ конецъ веревки, а на другой дѣйствуетъ сила руки по направленію наклонному къ предъидущему концу веревки. Въ этомъ случаѣ *сила должна быть болѣе половины сопротивленія*. Продолжимъ направленіе вере-

вокъ внизъ до встрѣчи ихъ въ точкѣ A; въ этой точкѣ проведемъ вертикальную линію, на которой отложимъ линію AD, представляющую собою величину сопротивленія поддерживаемаго блокомъ; изъ точки D проведемъ линіи CD и BD параллельно къ концамъ веревокъ; линіи AB и AC представляютъ напряженіе обоихъ концевъ веревокъ и величина силы выражается одною изъ этихъ линій; но такъ какъ напряженіе веревки вездѣ одинаково, то $AB = AC$, слѣдовательно оба конца веревки одинаково наклонены. Изъ четвероугольника $ACDB$ видно, что AD менѣе $2AC$ или Q менѣе $2P$, откуда P болѣе половины Q ($Q/_2$). Поэтому въ настоящемъ случаѣ сила должна быть болѣе половины сопротивленія и тѣмъ болѣе, чѣмъ далѣе концы веревокъ будутъ удаляться отъ параллельнаго между собою положенія.

§ 93. Наклонная плоскость есть самая простая изъ всѣхъ машинъ; потому что она есть не что иное какъ твердая плоскость, составляющая уголъ съ горизонтальною. Такъ какъ сила тяжести стремится скатывать всякое тѣло съ этой плоскости, то чтобы удержать его отъ скатыванія, надобно употребить извѣстную силу. Разсмотримъ теперь, какое отношеніе существуетъ во время равновѣсія на наклонной плоскости между силою и сопротивленіемъ. Наклонная плоскость.

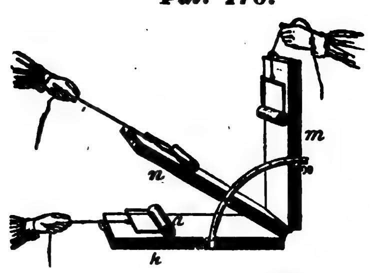
Фиг. 175.



Пусть ABC (фиг. 175) представляетъ вертикальный разрѣзъ, проходящій чрезъ центръ тяжести тѣла Q, лежащаго на наклонной плоскости. AC представляетъ *длину*; AB — *высоту*; BC—*основаніе*, а уголъ ACB — *уголъ наклоненія* плоскости. Представимъ дѣйствіе силы тяжести на тѣло Q линіею DG, которая и выразитъ сопротивленіе, потому что для преодолѣнія его мы должны употребить силу P. Силу эту можно разложить на двѣ силы — DE параллельную къ наклонной плоскости и DF перпендикулярную къ ней; послѣдняя сила уничтожается сопротивленіемъ плоскости, между тѣмъ какъ DE будетъ оказывать полное дѣйствіе. Поэтому чтобы тѣло Q находилось въ равновѣсіи, надобно употребить силу равную DE и дѣйствующую въ противоположномъ направленіи. Такъ какъ углы треугольника FGD равны угламъ треугольника ABC, то изъ этого слѣдуетъ, что эти два треугольника подобны одинъ другому, а слѣдовательно соотвѣтствующія стороны пропорціональны. Поэтому мы получимъ пропорцію $FG : Q = AB : AC$; но какъ сила P выражается линіею ED равною FG, то и получимъ: $P : Q = AB : AC$, т. е. *сила относится къ сопротивленію такъ какъ высота наклонной плоскости къ ея длинѣ*.

Слѣдовательно чѣмъ ниже наклонная плоскость, тѣмъ менѣе силы требуется для равновѣсія какого либо тѣла, находящагося на наклонной плоскости; такъ что когда высота равна O, т. е. плоскость изъ наклонной переходитъ въ горизонтальную (k), то и силу на-

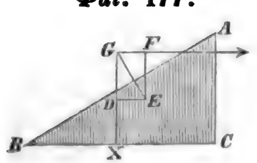
Фиг. 176.



добно употребить равную нулю, чтобы удержать тѣло въ равновѣсіи и наконецъ когда плоскость переходитъ изъ наклонной въ вертикальную (m), то мы нисколько не выигрываемъ въ дѣйствіи силы.

Выведенный законъ равновѣсія силъ на наклонной плоскости относится къ тому собственно случаю, когда сила дѣйствуетъ *параллельно* къ направленію наклонной плоскости (фиг. 177). Но если сила P дѣйствуетъ параллельно не длинѣ наклонной плоскости, а ея основанію, то для полученія отношенія между силою и сопротивленіемъ проведемъ изъ точки G перпендикуляръ на AB, и отъ D параллельную къ GF, а отъ точки E параллельную къ GD. Линія GE представляетъ намъ равнодѣйствующую двухъ силъ GF и GD, изъ которыхъ первая представляетъ дѣйствующую силу P, а вторая сопротивленіе Q. Такъ какъ стороны треугольника EGF перпендикулярны къ сторонамъ треугольника ABC, то изъ подобія этихъ двухъ треугольниковъ получаемъ пропорцію $GF:GD(=EF)=AC:BC$ или $P:Q=AC:BC$, т. е. *сила, дѣйствующая параллельно основанію наклонной плоскости, относится къ сопротивленію такъ какъ высота наклонной плоскости къ ея основанію.*

Фиг. 177.



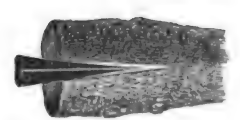
Фиг. 178.



Наклонная плоскость весьма часто употребляется въ общежитіи, такъ напр. при постройкахъ вмѣсто того, чтобы поднимать различныя тяжести снизу на веревкѣ, обыкновенно втаскиваютъ ихъ наверхъ по наклонной плоскости. Также употребляется наклонная плоскость при подъемахъ на крутыя горы. Для поднятія на иныя горы (фиг. 178) проводятъ дорогу по нѣсколькимъ наклоннымъ плоскостямъ, лежащимъ другъ надъ другомъ.

Клинъ. § 94. На фигурѣ 179 представлено бревно, въ расщелину котораго воткнутъ остроконечный кусокъ дерева. Разсматривая ближе форму послѣдняго не трудно замѣтить, что онъ состоитъ изъ двухъ наклонныхъ плоскостей приложенныхъ другъ къ другу. Обѣ эти плоскости взаимнымъ соединеніемъ своимъ составляютъ трехстороннюю призму, острый край которой b обыкновенно вставляется между двумя тѣлами или между частями одного и того же тѣла, для раздѣленія этихъ частей или тѣлъ. Сила, дѣйствующая на клинъ, состоитъ большею частію въ ударѣ, наносимомъ перпендикулярно къ тупому краю клина AB (фиг. 180), который называется шириною его; сцѣпленіе же частицъ тѣла, распираемаго клиномъ,

Фиг. 179.



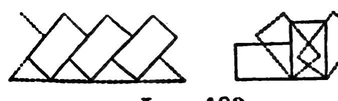
Фиг. 180.

представляетъ собою сопротивленіе, которое дѣйствуетъ перпендикулярно къ краямъ клина Ao и Bo. Положимъ, что во время равновѣсія направленіе и величина дѣйствующей силы P выражается линіею ab. Разложимъ ее на двѣ силы ac и ad, изъ которыхъ ac уравновѣшиваетъ сопротивленіе съ лѣвой стороны, т. е. съ боку Ao, а ad противодѣйствуетъ сопротивленію съ правой стороны на бокъ Bo. Такъ какъ стороны треугольника abc перпендикулярны къ сторонамъ треугольника ABO, то изъ подобія треугольниковъ получаемъ пропорцію: $ab : ac = AB : Ao$ или $P : Q = AB : Ao$, т. е. *сила относится къ сопротивленію какъ ширина клина къ длинѣ его боковъ.* Поэтому чѣмъ при одной и той же ширинѣ клинъ длиннѣе, а слѣдовательно и тоньше, тѣмъ удобнѣе дѣйствовать имъ.

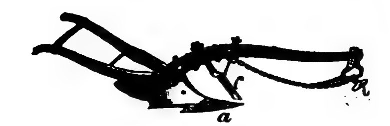
Клинъ употребляется для раскалыванія или раздѣленія твердыхъ тѣлъ, и въ этомъ случаѣ мы относимъ къ клину всѣ разрѣзывающіе инструменты, какъ то: ножи, бритвы, топоры, долота, иглы, шпаги и др., также зубцы пилы. Всѣ они исполняютъ свое назначеніе тѣмъ лучше, чѣмъ клинъ ихъ остроконечнѣе, но при этомъ должно смотрѣть, чтобы послѣднее условіе не мѣшало прочности ихъ. Мы знаемъ на опытѣ, что слишкомъ острые ножи весьма часто ломаются.

Къ числу примѣненій клина должно отнести также и одно изъ главнѣйшихъ земледѣльческихъ орудій — *плугъ*, употребляемый для доставленія сообщенія съ воздухомъ той части земной коры, которая лежитъ на разстояніи нѣсколькихъ дюймовъ отъ поверхности послѣдней. Для этого отрѣзываютъ землю длинными ломтями (фиг. 181) и опрокидываютъ эти ломти другъ на друга, какъ показываетъ фигура 182. Для достиженія этой послѣдней цѣли обыкновенно даютъ плугу слѣдующую форму, которая, не взирая на свое разнообразіе, въ главныхъ основаніяхъ бываетъ одна и таже. На фигурѣ 183 представленъ одинъ изъ употребительныхъ плуговъ. Металлическая часть его *c* прорѣзываетъ борозду *отвѣсно*, между тѣмъ какъ другая часть его *a* отрѣзываетъ эту самую борозду отъ земли *горизонтально* и при движеніи своемъ впередъ поднимаетъ ее и поворачиваетъ на сторону, какъ видно на фиг. 184.

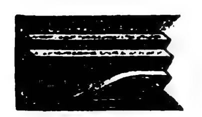
Фиг. 181 и 182.



Фиг. 183.

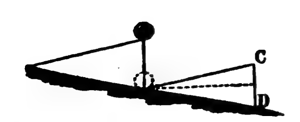


Фиг. 184.



Клинъ употребляется также для приподниманія различныхъ тяжестей. Очевидно, что при этомъ тяжести могутъ быть приподнимаемы только на ширину клина CD или до верхушки его (фиг. 185). Примѣръ полезнаго дѣйствія клина для передвиженія тяжестей, мы можемъ видѣть при поднятіи огромныхъ кораблей посредствомъ клиньевъ, подводимыхъ подъ килевую часть корабля; также когда выпрямляютъ трубы плавильныхъ печей, которыя, будучи построены на непрочномъ фундаментѣ, приходятъ въ наклонное положеніе. Посредствомъ клиньевъ часто разламываютъ горныя породы при горныхъ работахъ, также въ каменоломняхъ, гдѣ часто неудобно употребить рычагъ, воротъ или другую простую машину. Въ англійскомъ

Фиг. 185.

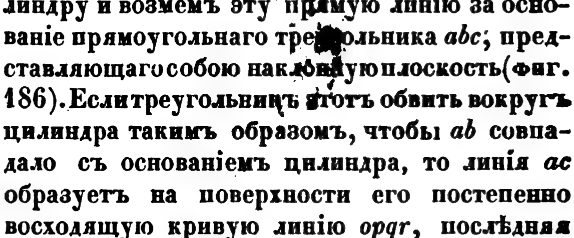


графствѣ Дерби, при добываніи мельничныхъ жерновововъ, употребляютъ клинья слѣдующимъ образомъ: около каменной массы, которую хотятъ отдѣлить отъ остальной массы, просверливаютъ дыры и вставляютъ въ нихъ сухіе деревянные клинья, которые притягивая влажность изъ воздуха, разбухаютъ и такимъ образомъ часть массы отдѣляется отъ цѣлой породы.

Если клинъ употребляется для раздѣленія двухъ тѣлъ, то онъ производитъ на нихъ сильное давленіе. Примѣръ этого можно видѣть въ приборѣ употребляемомъ для выжиманія масла изъ сѣмянъ, которыя помѣщаются для сего въ кожаный мѣшокъ, помѣщенный между двумя деревянными брусьями. Въ промежуткѣ между брусьями и стѣнками вбиваются клинья, которые производятъ такое сильное давленіе, что сѣмяна раздавливаются и получается масло.

Винтъ. § 95. Развернемъ въ прямую линію кругъ, служащій основаніемъ цилиндру и возмемъ эту прямую линію за основаніе прямоугольнаго треугольника *abc*; представляющаго собою наклонную плоскость (фиг. 186). Если треугольникъ этотъ обвить вокругъ цилиндра такимъ образомъ, чтобы *ab* совпадало съ основаніемъ цилиндра, то линія *ac* образуетъ на поверхности его постепенно восходящую кривую линію *opqr*, послѣдняя точка которой *r* будетъ лежать отвѣсно надъ начальною точкою *o*. Линія эта, продолженная на томъ же основаніи вокругъ цилиндра, называется *винтовою линіею*. На приложенной фигурѣ винтовая линія обозначена съ задней стороны цилиндра бѣлою, а на передней черною чертою. Разстояніе отъ *o* до *r* именуется *высотою винтоваго хода*. Примѣромъ винта можетъ служить намъ спиральная лѣстница.

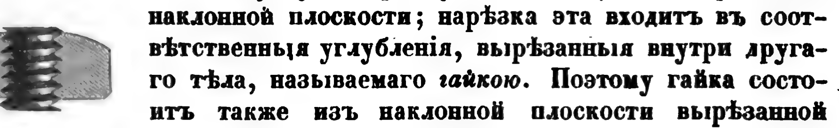
Фиг. 186



Основываясь на сказанномъ нами мы можемъ разсматривать каждую винтовую линію какъ наклонную плоскость, высота которой равна высотѣ винтоваго хода, а основаніе равно окружности винта.

Для употребленія винта въ общежитіи дѣлаютъ на поверхности его выпуклую нарѣзку (фиг. 187) по направленію наклонной плоскости; нарѣзка эта входитъ въ соотвѣтственныя углубленія, вырѣзанныя внутри другаго тѣла, называемаго *гайкою*. Поэтому гайка состоитъ также изъ наклонной плоскости вырѣзанной внутри цилиндра.

Фиг. 187.



Соединеніе винта съ гайкою бываетъ двухъ родовъ или неподвижна, а винтъ приводится въ движеніе, какъ напр. въ прессахъ, или винтъ неподвиженъ, а гайка подвижная; такого рода винты мы встрѣчаемъ въ экипажахъ при завинчиваніи колесъ.

Разсмотримъ отношеніе между силой и сопротивленіемъ при равновѣсіи винта. Для большей простоты разсужденія предположимъ, что гайка заключаетъ въ себѣ только одинъ винтовой ходъ или, говоря другими словами, одинъ оборотъ наклонной плоскости. Хотя наклонная плоскость въ настоящемъ случаѣ загнута, но это нисколь-

ко не измѣняетъ дѣйствія ея. Мы видѣли, что для удержанія въ равновѣсіи на наклонной плоскости какой либо тяжести, должно употребить силу меньшую въ сравненіи съ тяжестію, потому что часть тяжести уравновѣшивается самымъ сопротивленіемъ плоскости. Точно также и для равновѣсія винта должно употребить силу меньшую противу сопротивленія. Обращая винтъ въ неподвижной гайкѣ, мы можемъ поднимать его кверху. Слѣдовательно если бы къ нижнему концу винта была привѣшена какая нибудь тяжесть, то очевидно, что вмѣстѣ съ обращеніемъ винта мы могли бы поднимать и самую тяжесть; и при каждомъ оборотѣ винта привѣшенная къ нему тяжесть поднимается на высоту одного винтоваго нарѣзка или на высоту наклонной плоскости, отъ обращенія которой произошла винтовая линія, потому что при каждомъ оборотѣ винта мы исключаемъ одну наклонную плоскость. Тяжесть, дѣйствующая по направленію винтовой оси, передаетъ это давленіе на всѣ точки окружности винтовой линіи и отсюда передается гайки. Поэтому какую бы не взяли точку на винтовой линіи на всякой изъ нихъ мы можемъ разсматривать сопротивленіе какъ тяжесть, дѣйствующую на наклонной плоскости, а вращательную силу винта можно разсматривать какъ силу, дѣйствующую параллельно основанію наклонной плоскости.

Ближайшее же отношеніе между силой и сопротивленіемъ выводится слѣдующимъ образомъ: такъ какъ сила здѣсь дѣйствуетъ параллельно основанію наклонной плоскости, а мы знаемъ, что въ этомъ случаѣ сила относится къ сопротивленію какъ высота къ основанію наклонной плоскости, и такъ какъ при винтѣ высота винтоваго хода соотвѣтствуетъ высотѣ наклонной плоскости, а окружность основанію ея, то очевидно, что для равновѣсія винта *сила должна относиться къ сопротивленію какъ высота винтоваго хода къ окружности винта.*

Такъ напр. если высота винтоваго хода въ 10 разъ менѣе окружности винта, то для поддержанія въ равновѣсіи гири, привѣшанной къ концу винта, необходимо употребить силу, равную одной десятой части гири. Ясно, что отъ малѣйшаго увеличенія силы тяжесть будетъ подниматься кверху.

Слѣдовательно чѣмъ мельче нарѣзки винта (т. е. чѣмъ меньше высота винтоваго хода) и чѣмъ больше окружность винта (т. е. чѣмъ толще винтъ), тѣмъ легче производить извѣстную работу посредствомъ винта.

Значитъ, сила поднимающая по винтовой линіи какую либо тяжесть, должна быть тѣмъ менѣе, чѣмъ меньше самая величина винтоваго хода или, говоря другими словами, чѣмъ положе винтовая линія.

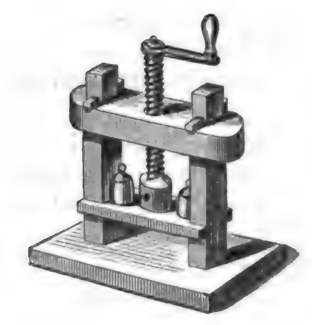
Винтовые ходы или нарѣзы дѣлаются или четвероугольные (плоскіе) или треугольные (острые). Металлическіе винты, употребляемые для ввинчиванія въ дерево, дѣлаются съ острыми нарѣзками для того, чтобы могли сами для себя образовать въ деревѣ гайку. Винты съ плоскими нарѣзками употребляются для выдерживанія большихъ

давленій. Винтовая нарѣзка можетъ обвивать цилиндръ по двумъ направленіямъ или съ лѣвой стороны въ правую, или съ правой стороны въ лѣвую. Первое направленіе называютъ въ механикѣ *dextrorsum*, а второе *sinistrorsum*. Чтобы указать на направленіе движенія, производимаго винтомъ или гайкою, употребляютъ слѣдующее правило: если гайка неподвижна, то замѣчаютъ, движется ли винтъ по одному или по противоположному направленію съ направленіемъ указываемымъ его названіемъ. Если же гайка подвижна, а винтъ неподвиженъ, то, вращая его вокругъ оси, сообщаютъ гайкѣ движеніе въ направленіи противоположномъ тому, какое бы принялъ самый винтъ.

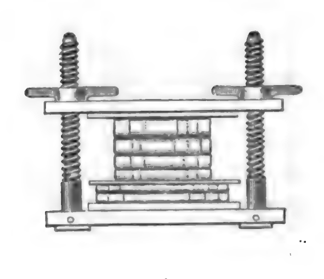
Употребленіе винта весьма обширно; онъ употребляется:

а) Для поднятія и для сжиманія различныхъ тѣлъ. На фиг. 188 представленъ прессъ. Гири, положенныя на среднюю доску его, могутъ быть подняты кверху отъ обращенія винта по направленію стрѣлки ↷.

Фиг. 188.



Фиг. 189.



Точно также, обращая винтъ въ противоположную сторону, мы можемъ произвести усиленное давленіе на тѣла, находящіяся между двумя нижними досками. Того же самаго достигаютъ при помощи пресса, употребляемаго обыкновенно переплетчиками (фиг. 189), гдѣ вмѣсто одного сдѣлано два винта.

b) Для укрѣпленія и соединенія различныхъ частей, при чемъ главную роль играетъ треніе. На фигурахъ 190 и 191 изображены винты, связывающіе отдѣльныя части различныхъ тѣлъ; примѣры тому мы видимъ въ экипажахъ, въ замкахъ и въ другихъ подобныхъ тѣлахъ.

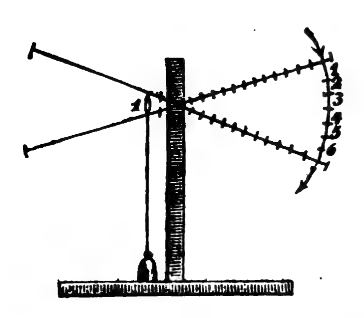
Фиг. 190 и 191.

Отношеніе между выигрышемъ силы и скорости.

§ 96. Разсматривая простыя машины, законы ихъ равновѣсія и примѣненіе къ практической жизни, мы видѣли, что цѣль всѣхъ ихъ есть приведеніе въ движеніе различныхъ тѣлъ наивыгоднѣйшимъ для насъ образомъ, или такъ чтобы посредствомъ небольшой силы приводить въ движеніе большія массы, конечно со скоростію меньше той, съ которою движется сама сила; или на оборотъ, дѣйствуя большою силою на малую массу, приводить послѣднюю въ быстрое движеніе. Пояснимъ сказанное нами нѣсколькими примѣрами.

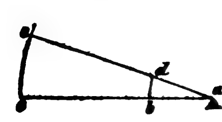
Положимъ, мы имѣемъ равноплечій рычагъ, представленный на фиг. 192; къ одному плечу его на разстояніи 2-хъ дюймовъ отъ точки опоры привѣсимъ на ниткѣ гирю въ одинъ фунтъ, отъ чего равновѣсіе нарушится и гиря ударится о подставку. Если бы захотѣли удержать рычагъ въ равновѣсіи, силою приложенною на другомъ плечѣ на разстояніи 12 дюймовъ, то очевидно, что для этого стоило бы только привѣсить гирю въ $1/6$ часть фунта или 16 золотниковъ, но за то если бы мы хотѣли, чтобы гиря на лѣвомъ плечѣ поднялась отъ стола на 1 дюймъ, то должны были бы гирю на правомъ плечѣ опустить на 6 дюймовъ.

Фиг. 192.



Выведемъ тоже самое не посредствомъ опыта, а посредствомъ строгаго доказательства. Возмемъ для сего одноплечій рычагъ (фиг. 193), въ точкѣ c котораго приложена сила P, *уравновѣшивающая* сопротивленіе Q, дѣйствующее на точку d въ сторону противоположную направленію силы. Понятно, что отъ малѣйшаго увеличенія силы P тотчасъ произойдетъ нарушеніе равновѣсія рычага, который вслѣдствіе того придетъ въ движеніе. При этомъ движеніи точки приложенія силы и сопротивленія (c и b) опишутъ означенныя на чертежѣ дуги ce и db. Изъ геометріи извѣстно, что дуги относятся между собою какъ радіусы ихъ. Слѣдовательно въ настоящемъ случаѣ будемъ имѣть, что дуга ce относится къ дугѣ db, какъ линія ac относится къ линіи ab, т. е. во сколько разъ линія ac болѣе ab, во столько же разъ дуга ce будетъ болѣе дуги bd. Изъ выведенныхъ же нами условій равновѣсія рычага извѣстно, что сила P, помноженная на соотвѣтствующее плечо, равна сопротивленію помноженному на другое плечо $P \cdot ac = Q \cdot ab$. Равенство это, основываясь на главныхъ свойствахъ пропорцій, мы можемъ представить въ видѣ слѣдующей пропорціи: $Q : P = ac : ab$. Изъ этихъ двухъ пропорцій $ce : db = ac : ab$ и $Q : P = ac : ab$, очевидно можно составить новое отношеніе между силами и дугами, т. е. $Q : P = ce : db$ или $Q \cdot db = P \cdot ce$. Послѣднее равенство показываетъ намъ, что *произведеніе изъ силы на пройденный ею путь равно произведенію изъ сопротивленія на путь описанный точкою его приложенія.* Произведенія эти называются *механическими моментами*, въ отличіе отъ моментовъ статическихъ, состоящихъ, какъ мы уже знаемъ, изъ произведеній силъ на соотвѣтственныя имъ плечи рычага.

Фиг. 193.



Изъ выведеннаго нами легко понять, что хотя посредствомъ небольшой силы и можно поднимать значительныя тяжести, удлиняя плечо рычага соотвѣтствующее силѣ, но въ сущности мы отъ того нисколько не выигрываемъ, потому что точка приложенія силы должна будетъ описывать большій путь для поднятія сопротивленія на весьма малую высоту. Это приводитъ насъ къ тому закону, что *всякій выигрышъ въ силѣ влечетъ за собою соотвѣтственную потерю во времени*, или, говоря другими словами, *выигрышъ въ силѣ обратно пропорціоналенъ выигрышу въ скорости.*

Весьма важно знаніе этого закона въ практическомъ отношеніи. Такъ напр., располагая значительнымъ запасомъ силы мы можемъ выигрывать во времени; точно также при достаточномъ времени мы можемъ достигать тѣхъ же результатовъ посредствомъ малой силы.

Примѣненіе этого закона мы встрѣчаемъ при движеніи различныхъ частей нашего тѣла. Такъ напр. мы сказали въ § 90, что расположеніе частей, отъ которыхъ зависитъ движеніе головы, требуетъ употребленія силы большей въ сравненіи съ сопротивленіемъ; но вмѣстѣ съ тѣмъ подобное устройство частей головы доставляетъ намъ выигрышъ въ скорости движенія.

При движеніи ворота, мы знаемъ, что чѣмъ болѣе колесо на валѣ, тѣмъ выгоднѣе можемъ употребить силу, т. е. посредствомъ небольшой силы можемъ приводить въ движеніе большія массы, но вмѣстѣ съ тѣмъ движеніе происходитъ весьма медленно: въ то время, когда колесо повернется на цѣлую окружность, грузъ повысится только на окружность вала, на которомъ навита его веревка. Если напр. радіусъ колеса = 18 дюймамъ, а радіусъ вала = 3 дюймамъ; то употребляя силу въ 1 фунтъ, мы будемъ въ состояніи удержать въ равновѣсіи 6 фунтовъ, за то, когда точка приложенія силы описываетъ на окружности колеса пространство въ 18 дюймовъ, точка приложенія сопротивленія опишетъ только 3 дюйма, на которые слѣдовательно и передвинется тяжесть.

Покажемъ еще, какимъ образомъ выигрышъ въ силѣ всегда сопровождается потерею во времени на наклонной плоскости. На фиг. 194 представлена наклонная плоскость *AB;* тяжесть *W*, которую мы хотимъ поднять на высоту наклонной плоскости, находится при основаніи ея въ точкѣ *B*. Сила *P* дѣйствуетъ по направленію длины плоскости. Мы уже знаемъ, что въ этомъ случаѣ вовсе нѣтъ нужды употреблять силу равную сопротивленію, потому что дѣйствіе послѣдней отчасти уничтожается самою наклонною плоскостію. Положимъ, что мы дѣйствуемъ на грузъ *W* посредствомъ веревки (перекинутой черезъ подвижный блокъ), къ которой приложена сила *P*; такъ что когда сила *P* будетъ дѣйствовать по отвѣсному направленію, въ тоже самое время грузъ *W* будетъ подниматься по направленію длины наклонной плоскости. Извѣстно, что если длина наклонной плоскости вдвое больше ея высоты, то и сила можетъ быть употреблена вдвое меньшая въ сравненіи съ сопротивленіемъ, и очевидно, что когда сила *P* пройдетъ пространство въ одинъ футъ, то и грузъ передвинется на 1 футъ по длинѣ плоскости; такъ что если высота наклонной плоскости равна положимъ 10 футамъ, а длина 20, то въ томъ случаѣ, когда сила *P* отъ точки *A* дойдетъ до низшей точки плоскости *C*, то тяжесть также передвинется на 10 футовъ, что составляетъ только половину длины плоскости, т. е. когда сила пройдетъ всю высоту плоскости, то грузъ, на который она дѣйствуетъ, повысится только на половину высоты. Такъ что и здѣсь, какъ и на всякой другой машинѣ, выигрышъ въ силѣ непремѣнно влечетъ соразмѣрную потерю во времени. Поэтому то для того, чтобы легче было ввозить какія либо тяжести на извѣстную высоту (при въѣздѣ на мосты и т. п.), то устраиваютъ отлогіе въѣзды; но ясно, что чѣмъ положе такой въѣздъ, тѣмъ онъ долженъ быть длиннѣе. Если въѣздъ на каждые 20 футовъ длины возвышается только на одинъ футъ, то нужно проѣхать 20 футовъ, чтобы поднять повозку на 1 футъ высоты.

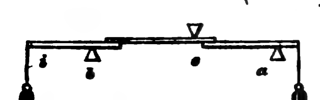
Фиг. 194.

II. Сложныя машины.

Сложными или *составными* машинами называются такія, которыя составлены изъ соединенія простыхъ машинъ.

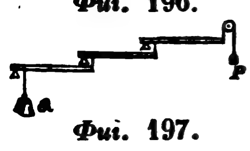
§ 97. *Составной* рычагъ состоитъ изъ соединенія нѣсколькихъ неравноплечихъ рычаговъ, которые дѣйствуютъ другъ на друга. Ихъ можно употреблять съ большою пользою, когда хотятъ посредствомъ небольшой силы привести въ движеніе большія массы и при томъ не желаютъ употреблять слишкомъ длинныхъ рычаговъ. Фигура 195 представляетъ составной рычагъ, состоящій изъ трехъ неравноплечихъ рычаговъ перваго рода. Чтобы яснѣе себѣ представить выгоду употребленія подобныхъ рычаговъ возмемъ какой нибудь примѣръ. Положимъ, что всѣ три рычага равны между собою и что каждое большое плечо равно 8, а каждое короткое 2 дюймамъ. Слѣдовательно на первомъ рычагѣ 1 фунтъ будетъ удерживать въ равновѣсіи 4 фунта, потому что моменты, дѣйствующихъ тутъ силъ, будутъ равны ($8 \times 1 = 4 \times 2$). Слѣдовательно на второй рычагъ будетъ дѣйствовать сила въ 4 фунта, которая можетъ уравновѣсить силу равную 16 фунтамъ. Послѣдняя, дѣйствуя на длинное плечо третьяго рычага, будетъ уравновѣшивать на другомъ плечѣ силу въ 64 фунта. Отсюда видно, что сила въ 1 фунтъ, дѣйствуя на первый рычагъ, удерживаетъ въ равновѣсіи на третьемъ рычагѣ гирю въ 64 фунта. Составной рычагъ.

Фиг. 195.

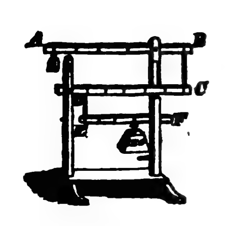


Тоже самое отношеніе получили бы мы, если бы рычаги были устроены нѣсколько иначе, какъ показано на фиг. 196. Точно такимъ же образомъ можно опредѣлить отношеніе силы къ сопротивленію въ системѣ рычаговъ, отдѣльныя части которой состоятъ изъ рычаговъ различнаго рода. Фигура 197 представляетъ намъ составной рычагъ, состоящій изъ рычага *AB* перваго рода и двухъ рычаговъ *DC* и *EF* втораго рода. Положимъ длина *AB* равна 5 футамъ, такъ что сила при *A* въ 1 фунтъ можетъ удерживать въ равновѣсіи при *B* 5 фунтовъ. Такъ какъ этотъ рычагъ находится въ соединеніи со вторымъ рычагомъ *CD*, то очевидно, что при *C* будетъ дѣйствовать сила въ 5 фунтовъ и если *CD* имѣетъ въ длину 6 футовъ, то эта сила въ 5 фунтовъ въ состояніи будетъ удерживать на противоположномъ концѣ *D* тяжесть въ 30 фунтовъ ($5 \times 6 = 30$). Эти 30 фунтовъ дѣйствуя на точку *E*, удерживаютъ въ свою очередь въ равновѣсіи при *F* 120 фунтовъ, если длина рычага *EF* равна 4 фунтамъ ($4 \times 30 = 120$).

Фиг. 196.



Фиг. 197.



Подобное соединеніе рычаговъ употребляется при устройствѣ мостовыхъ вѣсовъ, описаніе которыхъ будетъ нами помѣщено въ статьѣ о тяжести.

Иногда соединяютъ рычагъ перваго рода съ рычагомъ втораго рода, какъ показано на фигурѣ 198, посредствомъ твердаго шеста. Разсмотримъ сперва какая должна быть приложена сила къ концу *C* двуплечаго рычага *CD* для того, чтобы держать въ равновѣсіи сопротивленіе *Q*. Изъ условія равновѣсія двуплечаго рычага извѣстно, что сила эта должна быть во столько разъ менѣе *Q*, во сколько плечо *CE* болѣе плеча *ED*. Найденная нами часть силы очевидно будетъ дѣйствовать на одноплечій рычагъ *PF*

Фиг. 198.



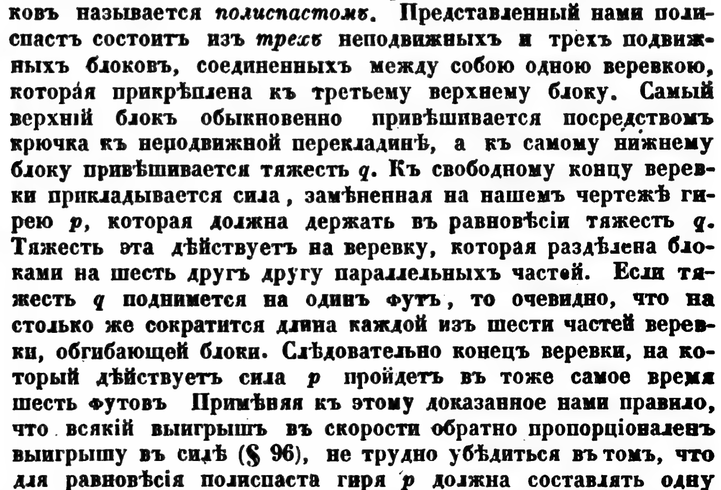
въ точкѣ *B*, неизмѣнно соединенной съ точкою *C*. Если мы примемъ эту последнюю силу за сопротивленіе для рычага *PF*, то величину силы, могущей уравновѣшивать это сопротивленіе не трудно вывести изъ условій одноплечаго рычага. И въ самомъ дѣлѣ искомая сила *P* будетъ во столько разъ менѣе сопротивленія, дѣйствующаго на точку *B*, во сколько разъ разстояніе *BP* будетъ болѣе *BF*. Понятно, что найденная величина силы *P* будетъ въ состояніи уравновѣшивать и самое сопротивленіе *Q*.

Составные рычаги этого рода употребляются весьма часто для поднятія экипажей, съ которыхъ надобно снять колеса.

Блоковая машина. § 98. Соединеніе нѣсколькихъ блоковъ между собою для усиленнаго дѣйствія называется *системою блоковъ* или *блоковою машиною*. Системы блоковъ бываютъ двухъ главнѣйшихъ родовъ, смотря потому, дѣйствуетъ ли на блоки одна или нѣсколько отдѣльныхъ веревокъ.

Фигура 199 изображаетъ систему блоковъ 1-го рода; такое устройство блоковъ называется *полиспастомъ*. Представленный нами полиспастъ состоитъ изъ *трехъ* неподвижныхъ и трехъ подвижныхъ блоковъ, соединенныхъ между собою одною веревкою, которая прикрѣплена къ третьему верхнему блоку. Самый верхній блокъ обыкновенно привѣшивается посредствомъ крючка къ неподвижной перекладинѣ, а къ самому нижнему блоку привѣшивается тяжесть *q*. Къ свободному концу веревки прикладывается сила, замѣненная на нашемъ чертежѣ гирею *p*, которая должна держать въ равновѣсіи тяжесть *q*. Тяжесть эта дѣйствуетъ на веревку, которая раздѣлена блоками на шесть другъ другу параллельныхъ частей. Если тяжесть *q* поднимется на одинъ футъ, то очевидно, что на столько же сократится длина каждой изъ шести частей веревки, обгибающей блоки. Слѣдовательно конецъ веревки, на который дѣйствуетъ сила *p* пройдетъ въ тоже самое время шесть футовъ Примѣняя къ этому доказанное нами правило, что всякій выигрышъ въ скорости обратно пропорціоналенъ выигрышу въ силѣ (§ 96), не трудно убѣдиться въ томъ, что для равновѣсія полиспаста гиря *p* должна составлять одну шестую часть вѣса гири *q*. Если послѣдняя гиря равна шести фунтамъ, то для удержанія въ равновѣсіи достаточно приложить къ свободному концу веревки силу въ 1 фунтъ. Понятно, что послѣ уравновѣшиванія тяжести, малѣйшій перевѣсъ въ силѣ можетъ поднять тяжесть кверху.

Фиг. 199.



Изъ сказаннаго нами слѣдуетъ, что для равновѣсія полиспаста *сила должна относиться къ сопротивленію какъ единица къ числу частей веревки или къ удвоенному числу паръ блоковъ*. На этомъ основаніи должно бы предполагать, что съ увеличеніемъ числа блоковъ, мы можемъ пріобрѣтать постоянный выигрышъ въ силѣ. Однакоже увеличеніе числа блоковъ за извѣстнымъ предѣломъ (около 10 паръ) не доставляетъ уже ожидаемой выгоды, съ одной стороны потому, что съ каждою новою парою уменьшается путь проходимый тяжестію, а съ другой — возрастаетъ треніе и сопротивленіе, представляемое жесткостію веревокъ.

Если въ описанномъ нами полиспастѣ находится значительное число блоковъ, то очевидно, что послѣдніе, занимая большое пространство въ длину, будутъ препятствовать поднятію тяжести на достаточную высоту. Для устраненія этого неудобства въ особенности на корабляхъ, гдѣ сбереженіе мѣста составляетъ важное условіе, даютъ полиспасту устройство представленное на фиг. 200, при которомъ блоки находятся не одни надъ другими, а другъ возлѣ

друга, такъ что три блока находятся вверху, а три внизу (фиг. 200). Понятно,

Фиг. 200.

что полиспастъ этого рода, заключая одинаковое число блоковъ съ предъидущимъ, будетъ представлять одинаковую съ нимъ выгоду относительно величины силы, потребной для удержанія въ равновѣсіи извѣстной тяжести. Но оба эти полиспаста представляютъ то неудобство, что части веревки дѣйствуютъ въ нихъ въ наклонномъ положеніи къ блокамъ, чрезъ что кромѣ увеличенія тренія потребно и большее напряженіе силы, часть которой, какъ мы уже знаемъ, теряется при наклонномъ дѣйствіи веревки на блокъ (§ 92).

Обстоятельства эти заставляютъ иногда предпочитать этой системѣ блоковъ такую систему, въ которой вмѣсто одной дѣйствуетъ нѣсколько веревокъ.

На послѣдней системѣ блоковъ самая сила выигрывается болѣе нежели предъидущемъ случаѣ.

Положимъ, что мы имѣемъ одинъ неподвижный и три подвижныхъ блока (фиг. 201); представимъ себѣ, что на неподвижный блокъ дѣйствуетъ сила въ 4 фунта. Такъ какъ на подвижномъ

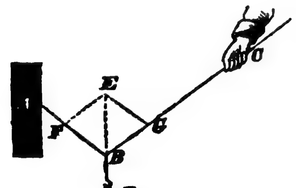
Фиг. 201.

блокѣ обѣ силы должны быть равны, то поэтому и на первый подвижной блокъ будетъ дѣйствовать сила равная 4-мъ фунтамъ. Изъ условій равновѣсія подвижнаго блока (§ 92) слѣдуетъ, что сила эта можетъ уравновѣшивать на немъ въ два раза большую силу (8 фунтовъ). Эта сила въ 8 фунтовъ, дѣйствуя точно также на 3-й блокъ, можетъ уравновѣшивать на немъ силу въ 16 фунтовъ, которая въ свою очередь будетъ въ состояніи на третьемъ подвижномъ блокѣ удержать въ равновѣсіи 32 фунта. Это показываетъ намъ, что при трехъ подвижныхъ блокахъ подобнаго устройства можно силою въ одинъ фунтъ уравновѣсить 32 фунта.

§ 99. Соединеніе воротовъ дастъ также сложную машину; ихъ соединяютъ такимъ образомъ, что валъ перваго ворота приводится въ движеніе колесомъ втораго, валъ втораго колеса колесомъ третьяго, и т. д.; на окружности же послѣдняго вала привѣшивается тяжесть. Соединеніе это производится или посредствомъ снуровъ, ремней, которые входятъ въ жолоба, проведенные на окружности колесъ воротовъ, или чаще окружности колесъ воротовъ усажены зубцами, посредствомъ которыхъ они зацѣпляютъ за валы, снабженные углубленіями соотвѣтствующими этимъ зубцамъ. Углубленія и зубцы принаравливаются такимъ образомъ, чтобы при постепенномъ задѣваніи ихъ другъ за друга, сохранялась равномѣрность движенія самыхъ воротовъ. Колесо съ нарѣзанными на окружности его зубцами называется *зубчатымъ*. Система воротовъ.

§ 100. При описаніи блока и ворота мы разсматривали веревки какъ части неимѣющія вліянія на равновѣсіе силъ, дѣйствующихъ въ этихъ машинахъ. Теперь мы покажемъ условія равновѣсія силъ, приложенныхъ собственно къ веревкамъ. Одинъ изъ обыкновенныхъ случаевъ употребленія веревки какъ машины представленъ на фигурѣ 202, гдѣ на веревку дѣйствуютъ три силы: Веревочная машина.

Фиг. 202.



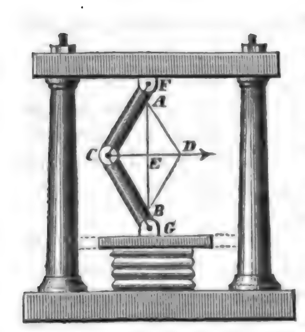
сопротивленіе неподвижнаго предмета *A*, къ которому она прикрѣплена однимъ концемъ, тяжесть гири *D* и *C* усиліе руки. При состояніи равновѣсія веревки одна изъ силъ всегда бываетъ равна и противоположна равнодѣйствующей двухъ прочихъ. Такъ напр. представимъ себѣ, что направленіе дѣйствія гири *D* продолжено кверху и что на этомъ продолженіи отложена часть *BE*, выражающее напряженіе *D*. Если изъ точки *E* провести параллельныя линіи къ направленію двухъ остальныхъ силъ, находящихся въ равновѣсіи съ *D*, то части *FB* и *BG*

выразятъ намъ напряженіе ихъ. При этомъ должно замѣтить, что сила Q будетъ тѣмъ менѣе, чѣмъ большій уголъ составляютъ между собою однѣ и тѣже силы BF и BG, дѣйствующія на веревку; поэтому посредствомъ незначительной силы можно съ помощію веревокъ удерживать въ равновѣсіи большія тяжести.

Подобное употребленіе веревокъ мы встрѣчаемъ весьма часто въ общежитіи: каждая натянутая съ обоихъ концевъ веревка, на которую вѣшаютъ бѣлье, составляетъ веревочную машину, при чемъ сопротивленія точекъ прикрѣпленія представляютъ силы P и R, а привѣшанная тяжесть — сопротивленіе Q.

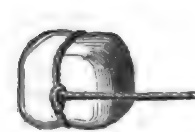
Золотыя цѣпи, носимыя на шеѣ, лошадиныя уздечки и тому подобные приборы составляютъ также видоизмѣненія веревочной машины. Сюда же относится и колѣнчатый прессъ (фиг. 203), въ которомъ съ помощію небольшой силы, можно дѣйствовать на значительныя сопротивленія. Онъ состоитъ изъ двухъ плотныхъ шестовъ AC и BC, образующихъ у точки C подвижное соединеніе. Одинъ изъ шестовъ AC опирается въ A на неподвижное сопротивленіе, между тѣмъ какъ другой BC давитъ прикрѣпленною къ нему доскою G на прессуемое тѣло. Приборъ этотъ устраиваютъ такимъ образомъ, чтобы уголъ ACB былъ довольно великъ. Слѣдовательно достаточно дѣйствовать по направленію CD незначительною силою для того, чтобы обнаруживать большое давленіе на сжимаемое тѣло.

Фиг. 203.



Другой примѣръ подобнаго дѣйствія силы представляетъ намъ веревка при связываніи товарныхъ тюковъ (фиг. 204). И въ самомъ дѣлѣ, если веревку, снабженную петлей на одномъ концѣ, обвить вокругъ тюка и продѣвъ другой конецъ чрезъ петлю, стянуть крѣпко веревку, то при новомъ обвитіи по направленію перпендикулярному къ прежнему, мы можемъ произвести при незначительномъ усиліи дальнѣйшее сдавливаніе тюка. Подобное же представляютъ намъ струны музыкальныхъ инструментовъ. Такъ напр. невзирая на натянутость струнъ гитары или арфы, мы въ состояніи выводить ихъ изъ состоянія равновѣсія легкимъ усиліемъ пальца, именно потому что уголъ, образуемый струною у точки прикрѣпленія, весьма значителенъ.

Фиг. 204.



Весьма часто употребляютъ цѣлую систему, соединенныхъ между собою, веревочныхъ машинъ. Такую систему представляетъ намъ каждая сѣть, состоящая изъ бичевокъ. Систему веревочныхъ машинъ употребляютъ также при постройкѣ небольшихъ мостовъ.

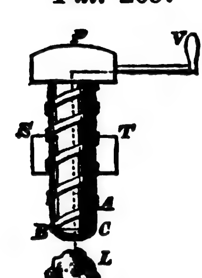
Сложныя винтовыя машины.

§ 101. Изъ сложныхъ *винтовыхъ* машинъ самая простѣйшая есть соединеніе винта съ рычагомъ.

При разсмотрѣніи отношенія силъ на винтѣ мы видѣли, что чѣмъ толще становится винтъ, тѣмъ съ большею выгодою можно его употреблять. Но очевидно, что выведенныя нами условія только математически справедливы, на самомъ же дѣлѣ выигрышъ практическій всегда менѣе выводимаго по теоріи. Такъ напр. въ настоящемъ случаѣ, увеличивая толщину винта, мы тѣмъ самымъ увеличиваемъ его массу, а слѣдовательно и вѣсъ, кромѣ того вмѣстѣ съ тѣмъ увеличивается и трущаяся поверхность; поэтому вмѣсто того, чтобы утолщать винтъ, несравненно выгоднѣе придѣлывать къ верхней части винта рычагъ.

Положимъ, что горизонтальному давленію на винтъ можетъ противодѣйствовать сила k, приложенная въ точкѣ v (фиг. 205); PQ — ось, на которой вращается винтъ; L — сопротивленіе, которое въ нашемъ примѣрѣ изображено извѣстнымъ грузомъ, который хотимъ поднять посредствомъ винта до какой нибудь высоты. Мы видѣли, что сопротивленіе будетъ дѣйствовать не всею своею массою, а только частію ея; означимъ ее черезъ M. Слѣдовательно моментъ сопротивленія выразится произведеніемъ $M \cdot r$, гдѣ r представляетъ радіусъ винта, т. е. половину линіи BC, а моментъ дѣйствующей силы выражается произведеніемъ $K \cdot R$, гдѣ R означаетъ длину рычага PV. Во время же равновѣсія эти два произведенія должны быть равны, т. е. $M.r = K.R$, или, выражая тоже самое пропорціею, получимъ $K : M = r : R$. Слѣдовательно на винтѣ соединенномъ съ рычагомъ или, говоря другими словами, *на винтѣ съ рукояткою сила относится къ сопротивленію какъ радіусъ винта къ радіусу рукоятки.*

Фиг. 205.

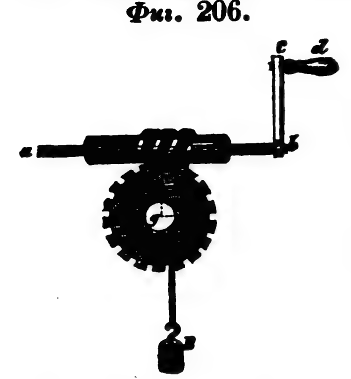


Такъ напр. если винтъ такого устройства, что тяжесть L удерживается въ равновѣсіи силою въ 10 разъ меньшею, т. е. $^1/_{10}$ ея, то при употребленіи рычага, который въ 20 разъ длиннѣе винтоваго радіуса, достаточно будетъ употребить силу $^1/_{20} \cdot {}^1/_{10}L$ или $L/_{200}$, т. е. силою въ одинъ фунтъ на такомъ винтѣ можно уравновѣсить пятипудовую тяжесть.

Для приведенія винта въ движеніе, рычагъ придѣлывается или прилагается къ головкѣ его различнымъ образомъ; такъ напр. иногда онъ продѣвается чрезъ отверстіе сдѣланное поперегъ винта; въ другихъ случаяхъ придѣлываютъ многоугольную головку для того, чтобы удобнѣе его приводить въ движеніе посредствомъ такъ называемаго винтоваго ключа, что можно видѣть въ экипажныхъ винтахъ.

Большую пользу приноситъ употребленіе такъ называемаго *безконечнаго винта.* Названіе это присвоено ему потому, что онъ можетъ вращаться безпрерывно на одномъ и томъ же мѣстѣ, не производя подобно обыкновенному винту собственнаго поступательнаго движенія и кромѣ того съ вращеніемъ безконечнаго винта, проводится въ движеніе соединенное съ нимъ зубчатое колесо (фиг. 206). Покажемъ на частномъ примѣрѣ выгоду употребленія подобнаго рода винтовъ. Положимъ, что окружность, описываемая точкою c, въ пятдесятъ разъ болѣе высоты винтоваго хода, то очевидно, что на зубчатое колесо будетъ дѣйствовать сила въ 50 разъ большая противу силы дѣйствующей на рычагъ dcb. Если при этомъ радіусъ зубчатаго колеса ge въ 10 разъ больше радіуса оси gf, на которой навита веревка, поддерживающая тяжесть B, то сила въ 1 фунтъ, приложенная въ точкѣ c, будетъ въ состояніи уравновѣшивать на оси зубчатаго колеса силу въ 500 фунтовъ.

Фиг. 206.



Покажемъ теперь примѣненія винта, играющаго важную роль въ приборахъ, употребляемыхъ *для измѣренія малыхъ протяженій* и *для раздѣленія ихъ на мелкія части.*

Если сообщить вращательное движеніе винту, то очевидно, что каждая точка поверхности нарѣзки будетъ двигаться вдоль вырѣзовъ гайки, описывая при этомъ винтовую линію. При этомъ понятно, что при неподвижной гайкѣ оконечность винта будетъ подвигаться по направленію прямой линіи и притомъ такъ, что если винтъ сдѣлаетъ на оси полный оборотъ, то оконечность его подвинется на цѣлую высоту винтоваго хода. Точно также при совершеніи полуоборота каждой точкой винта и оконечность его подвинется на пол-

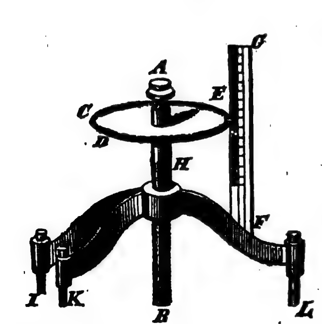
высоты винтоваго хода. Однимъ словомъ, оконечность винта будетъ всегда подвигаться на часть винтоваго хода, равную углу или лучше сказать той части окружности, на которую повернулся винтъ. Поэтому если мы имѣемъ такой механизмъ, который позволитъ намъ измѣрять въ точности величину обращенія винта, то очевидно, что мы въ состояніи будемъ выражать величину линейнаго перемѣщенія оконечности винта въ частяхъ винтоваго хода.

Точно также, если во время обращенія винта на оси, гайка движется по направленію послѣдней, то поступательное движеніе гайки будетъ пропорціонально угловому движенію самого винта.

На этихъ началахъ основано устройство *сферометра*, *микрометрическаго винта* и *дѣлительной машины*.

Сферометръ, представленный на фиг. 207, состоитъ изъ металлическаго треножника $HIKL$ съ гайкою, въ которую входитъ винтъ AB съ мелкими нарѣзками. На винтѣ насаженъ горизонтальный кружокъ CDE, раздѣленный на извѣстное число мелкихъ частей, а къ одной изъ ножекъ треножника укрѣплена отвѣсная линейка FG, прикасающаяся такимъ образомъ къ краю круга CDE, чтобы послѣдній могъ производить свободное обращеніе на оси. Каждое изъ дѣленій линейки соотвѣтствуетъ высотѣ винтоваго хода. При этомъ условіи понятно, что если винтъ съ кругомъ сдѣлаетъ полный оборотъ, то кругъ передвинется на одно дѣленіе по длинѣ линейки FG. Если же послѣ полнаго оборота мы подведемъ къ линейкѣ FG слѣдующее дѣленіе круга, то очевидно, что винтъ подвинется по длинѣ линейки на часть ея дѣленія, соотвѣтствующую передвинутой части круга. Если при этомъ кругъ раздѣленъ напр. на 300 частей, то винтъ подвинется по линейкѣ на $1/300$ часть одного дѣленія ея.

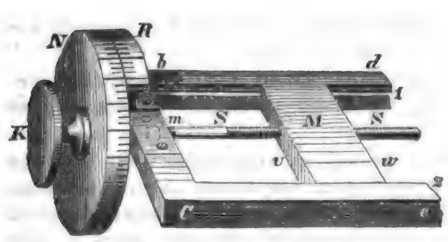
Фиг. 207.



При употребленіи этого прибора для измѣренія небольшихъ протяженій, какъ напр. толстоты тонкихъ пластинокъ, ставятъ треножникъ на шлифованное плоское стекло такимъ образомъ, чтобы приборъ не шатался. Потомъ опускаютъ винтъ AB до тѣхъ поръ, пока точка B не коснется стеклянной плоскости и замѣчаютъ тогда какому дѣленію на линейкѣ соотвѣтствуетъ положеніе круга CDE и къ какому дѣленію его прикоснется линейка. Желая измѣрить какой нибудь предметъ, поднимаютъ винтъ на столько, чтобы измѣряемый предметъ могъ подойти подъ конецъ его B. Тогда по числу пройденныхъ кругомъ дѣленій линейки считаютъ число оборотовъ и замѣчаютъ сверхъ того, сколько послѣ полныхъ оборотовъ отошло частей круга отъ вертикальной линейки.

Теперь опишемъ устройство другаго прибора употребляемаго для той же цѣли. Устройство это, представленное на фиг. 208, носитъ обыкновенно названіе *микрометрическаго винта*. Сквозь переднюю часть рамки bc проходитъ винтъ S, которому утолщеніе m не позволяетъ производить поступательнаго движенія. Винтъ этотъ проходитъ чрезъ гайку M, которая можетъ производить движеніе въ пазахъ рамки. На выходящемъ за раму концѣ винта находится кругъ N съ ручкою K. Понятно, что при обращеніи ручки гайка M произведетъ поступательное движеніе на столько ходовъ, сколько полныхъ оборотовъ сдѣлаетъ винтъ. Если при этомъ въ одной линіи заключается 10 винтовыхъ ходовъ, то очевидно, что при полномъ оборотѣ круга гайка подвинется на $1/10$ часть линіи. Если при этомъ кругъ раз-

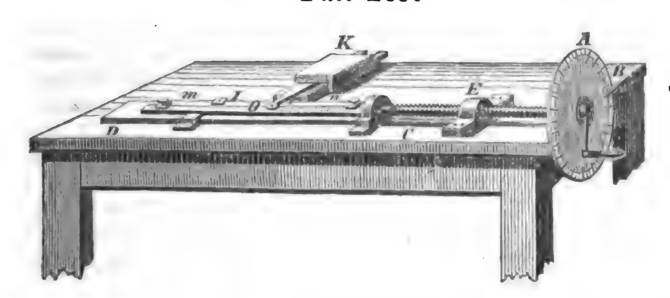
Фиг. 208.



дѣленъ на 100 частей, то при поворотѣ круга на одно дѣленіе гайка подвинется на $^1/_{1000}$ часть линіи. Чтобы опредѣлить еще въ болѣе дробныхъ частяхъ линіи передвиженіе гайки, придѣлываютъ къ кругу дугообразный ноніусъ и если послѣдній измѣряетъ десятыя части каждаго дѣленія круга, то можно измѣрять передвиженіе гайки даже до $^1/_{10000}$ части линіи. Желая измѣрить микрометрическимъ винтомъ линейное протяженіе, подвигаютъ одинъ какой нибудь край гайки (напр. обращенный къ головкѣ винта) къ началу протяженія и потомъ вращаютъ винтъ до тѣхъ поръ, пока тотъ же самый край гайки не достигнетъ до противоположнаго конца измѣряемаго протяженія.

Винтъ съ мелкими нарѣзками употребляется также въ другомъ приборѣ, именно въ *дѣлительной машинѣ*. Фиг. 209 представляетъ дѣлительную машину,

Фиг. 209.



существенную часть которой составляетъ винтъ съ возможно правильными мелкими нарѣзками. Винтъ находится между двумя подушками, прикрѣпленными къ столу; на концѣ винта находится кругъ съ дѣленіями, а передъ кругомъ шпилька *B*, указывающая на дѣленія круга. Гайка *E*, въ которую входитъ винтъ, прикрѣплена къ желѣзной линейкѣ *CD*, лежащей параллельно съ осью винта; на линейкѣ *CD* лежитъ другая линейка, которую желаютъ раздѣлить на части. Наконецъ на столѣ лежатъ два небольшіе бруска изъ желтой мѣди, покрытые коробкою *K*, въ которой находится рѣзецъ *O*, обозначающій дѣленія.

Дѣлительная машина можетъ служить въ двухъ случаяхъ: или для раздѣленія линейки на части извѣстной длины, или для раздѣленія линейки на извѣстное число дѣленій равной длины. Положимъ высота винтоваго хода равна $^1/_4$ линіи и намъ нужно назначить дѣленія черезъ каждую $^1/_{20}$ часть линіи, то для этого должно кругъ поворачивать на 72° и послѣ каждаго поворота придавливать рѣзецъ. Такъ какъ при полномъ поворотѣ круга, т. е. при поворотѣ на 360°, линейка подвигается на высоту одного винтоваго хода, т. е. на $^1/_4$ линіи, то при поворотѣ круга на $^1/_5$ долю окружности $(72° = \frac{360°}{5})$ линейка подвинется на $^1/_5$ часть винтоваго хода, т. е. на $^1/_{20}$ одной линіи.

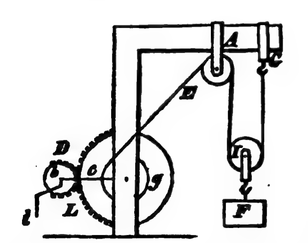
Возмемъ второй случай. Положимъ намъ нужно раздѣлить линейку на 15 равныхъ частей; для этого ставятъ одинъ конецъ линейки *m* подъ рѣзецъ (если дѣленія обозначаютъ на бумагѣ, то вмѣсто рѣзца вставляется карандашъ) и кругъ поворачиваютъ до тѣхъ поръ, пока не придетъ на это самое мѣсто конецъ *n*; тогда замѣчаютъ сколько оборотовъ совершитъ кругъ; положимъ, что для этого его должно повернуть 5 разъ и еще на 90°, слѣдовательно всего на 1890°. Теперь, чтобы раздѣлить длину линейки, соотвѣтствующую 1890°, на 15 частей, то надобно чрезъ каждые 126° $(\frac{1890°}{51} = 126°)$ означать дѣленіе.

Основываясь на показанныхъ нами условіяхъ равновѣсія между силой и сопротивленіемъ, въ нѣкоторыхъ сложныхъ машинахъ не трудно найти отношеніе силы къ сопротивленію и во всякой сложной машинѣ. Такъ какъ вся-

кая сложная машина образуется изъ соединенія простыхъ машинъ, то стоитъ только разсмотрѣть условіе равновѣсія на каждой изъ составляющихъ ея простыхъ машинъ. Для этого надобно найти какой величины должна быть приложена сила къ той простой машинѣ, на которую дѣйствуетъ непосредственно данное сопротивленіе. Найденную силу должно принять за сопротивленіе для другой простой машины, непосредственно соединяющейся съ первой. Опредѣливъ величину силы, уравновѣшивающей это сопротивленіе на второй машинѣ, переходятъ точно также къ третьей, четвертой, и т. д. до самой последней машины, къ которой непосредственно прилагается дѣйствующая сила.

На фиг. 210 представленъ *кранъ*, состоящій изъ соединенія рычага, ворота, блоковъ и зубчатаго колеса. Примѣняя сдѣланное нами разсужденіе къ этой машинѣ, легко опредѣлить какая должна быть приложена сила въ точкѣ *i* для того, чтобы уравновѣшивать тяжесть *F*, приложенную къ подвижному блоку *I*.

Фиг. 210.



Изъ сдѣланнаго нами разсмотрѣнія сложныхъ машинъ не трудно замѣтить, что цѣль ихъ заключается собственно въ увеличеніи выигрыша въ силѣ противу простыхъ машинъ. Но не должно увлекаться этими выгодами безусловно, потому что при всякомъ выигрышѣ въ силѣ, мы всегда теряемъ въ скорости производимаго ею движенія (§ 96), такъ напр. если бы мы увеличивали выигрышъ до безконечности, то очевидно, что въ томъ же самомъ отношеніи уменьшалась бы скорость производимаго ею движенія и при безконечно большомъ выигрышѣ въ силѣ, мы получили бы безконечно малую скорость. Произведеніе же изъ силы на пространство, проходимое точкою приложенія силы, должно служить мѣрою работы этой силы, которая остается одною и тою же, если мы будемъ во столько разъ одинъ членъ произведенія увеличивать, во сколько другой будемъ уменьшать.

Чтобы болѣе убѣдиться въ справедливости этого вывода, мы приведемъ слѣдующій примѣръ:

Говоря объ выигрышѣ въ силѣ при увеличеніи соотвѣтствующаго ей плеча рычага, мы привели извѣстное изрѣченіе Архимеда: «дайте мнѣ рычагъ и точку опоры: и я подниму земной шаръ». Примѣняя къ этому выраженію совершенно справедливому въ математическомъ смыслѣ показанное нами отношеніе между выигрышемъ въ силѣ и потерею въ скорости, мы придемъ къ слѣдующему заключенію: если бы въ самомъ дѣлѣ человѣкъ могъ дѣйствовать на землю рычагомъ, то длина большаго плеча послѣдняго, какъ показываетъ вычисленіе, должна быть въ 1000 разъ болѣе разстоянія отъ насъ ближайшей неподвижной звѣзды, для того, чтобы употребляя постоянное усиліе, равное четыремъ пудамъ, можно было поднять землю на высоту пылинки. Длина другаго плеча предполагается равною полуаршину.

Механическіе движители, приводы и уравнители.

Цѣль и различные способы передачи движенія.

§ 102. Передача движенія служитъ къ наивыгоднѣйшему направленію дѣйствія извѣстныхъ силъ. Въ машинахъ различаютъ три главныя части; первая, гдѣ сила приложена, называется *пріемникомъ;* вторая, называемая *исполнительнымъ механизмомъ*, гдѣ противодѣйствуетъ сопротивленіе; наконецъ часть передающая движеніе отъ пріемника къ исполнительному механизму и назы-

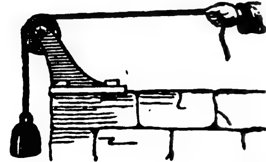
ваемая *приводомъ движенія*. У простыхъ машинъ, напр. у ножницъ, назначенныхъ для рѣзанія желѣза, эти три части состоятъ по большой части изъ одного куска и лежатъ недалеко другъ отъ друга. Въ сложныхъ же машинахъ части эти болѣе отличаются между собою и потому требуютъ отдѣльнаго разсмотрѣнія.

Что касается до устройства пріемниковъ, то части эти зависятъ отъ природы дѣйствующихъ на нихъ силъ. Силы эти раздѣляются на движители *живые* и *неживые*. Къ первымъ относятся — сила мускуловъ и всѣ части тѣла человѣка и животныхъ, употребляемыхъ нами для движенія, какъ-то: лошади, быки и др. Къ неживымъ движителямъ принадлежатъ: паденіе воды, сила вѣтра, сила тяжести, теплоты, электричества, и др.

Мы дадимъ понятіе здѣсь только о механической работѣ живыхъ движителей, остальные же движители и основанные на нихъ пріемники будутъ разсмотрѣны нами при изученіи основныхъ законовъ этихъ движителей.

Сила мышцъ человѣка и животныхъ была первою силою, изъ которой начала извлекать пользу промышленность. Мы разсмотримъ предварительно силу лошади, которая употребляется преимущественно для перевозки тяжестей и для дѣйствія вѣсомъ собственнаго своего тѣла.

Фиг. 211.



Чтобы опредѣлить силу, которую можетъ доставить намъ лошадь для перевозки различныхъ тяжестей припрягаютъ ее къ прибору, представленному на фиг. 211. Вѣсъ гири, поднимаемой при этомъ лошадью, очевидно выразитъ намъ силу ея. Опытъ показываетъ, что съ увеличеніемъ скорости движенія вѣсъ гири, поднимаемой лошадью, будетъ постоянно уменьшаться. Лошадь средней силы при различныхъ скоростяхъ поднимаетъ слѣдующія тяжести:

при	2	футахъ	скорости	160	фунтовъ.
—	3	—	—	120	—
—	4	—	—	90	—
—	5	—	—	62	—
—	6	—	—	40	—
—	7	—	—	23	—

Ясно, что работы, производимыя при этомъ будутъ $2 \times 160 = 320$ футофунтовъ, $3 \times 120 = 360$ фф., $4 \times 90 = 360$ фф., $5 \times 62 = 310$ фф., $6 \times 40 = 240$ фф. и $7 \times 23 = 161$ фф. (*). Изъ этихъ чиселъ не трудно замѣтить, что самое выгодное употребленіе лошади для перевозки извѣстнаго груза бываетъ въ томъ случаѣ, когда она движется со скоростію отъ 3 до 4 футовъ въ секунду, т. е. идетъ шагомъ, какъ это бываетъ дѣйствительно при перевозкѣ различныхъ тяжестей. Величина же тяжести, которою можно обременять при этомъ условіи лошадь, очевидно будетъ зависѣть какъ отъ покатости дороги, такъ и отъ качества ея. При усиліи, необходимомъ для удовлетворенія приведенныхъ выше условій при перевозки тяжестей, вообще лошадь можетъ работать около 8 часовъ въ сутки. Скорость движенія лошадей бываетъ весьма различна и зависитъ преимущественно отъ сложенія ихъ. За среднюю мѣру скорости можно принять въ секунду 3 фута при движеніи обыкновеннымъ шагомъ; 5 футовъ ускореннымъ шагомъ, отъ 7 до 10 футовъ — рысью и отъ 16 до 18 — галопомъ, которымъ, какъ извѣстно, лошади не могутъ проходить долго безъ утомленія.

Въ машинахъ пріемникомъ тянущей силы лошадей служитъ обыкновенно отвѣсный воротъ, къ которому припрягаютъ лошадей. При этомъ должно замѣтить, что около половины работы поглощается здѣсь на побѣжденіе тренія, обнаруживаемаго на оси ворота.

(*) Мы выразили здѣсь работу въ футофунтахъ для избѣжанія дробей, потому что за единицу работы у насъ принимается пудофутъ.



Если грузъ положимъ на спину лошади, то работа ея при каждомъ шагѣ заключается въ поднятіи кверху какъ собственнаго вѣса, такъ и вѣса груза, которые послѣ каждаго усилія лошади снова опускаются книзу. Понятно, что измѣреніе такой работы мы можемъ подвести подъ общее опредѣленіе количества работы, но обыкновенно при этомъ способѣ употребленія силы лошади ограничиваются только показаніемъ вѣса груза и пространства проходимаго имъ. Этотъ способъ употребленія лошадиной силы можетъ быть употребленъ съ выгодою только на труднопроходимыхъ дорогахъ, въ особенности въ горныхъ странахъ. На хорошихъ дорогахъ таже самая лошадь, привязанная къ повозкѣ, можетъ тянуть гораздо большій грузъ.

Что же касается до движенія, получаемаго отъ дѣйствія тяжести самой лошади на плоскость вращающуюся вокругъ своей оси, наклоненной къ горизонту на 5 или 10 градусовъ, то этотъ способъ не представляетъ большихъ выгодъ въ практическомъ отношеніи.

Хотя сила человѣка, употребляемая для движенія и обходится дороже другихъ движителей, но она имѣетъ предъ ними то преимущество, что можетъ быть прилагаема къ машинамъ самымъ различнымъ образомъ. Сверхъ того, человѣкъ кромѣ доставленія собственной силы, можетъ въ тоже время имѣть и наблюденіе за машиной. Силу человѣка вообще можно выразить слѣдующими числами:

при 1	футѣ	скорости	45	фунт.,	работа	$1 \times 45 = 45$ фф.
— 2	—	—	28	—	—	$2 \times 28 = 56$ фф.
— 3	—	—	18	—	—	$3 \times 18 = 54$ фф.
— 4	—	—	7	—	—	$4 \times 7 = 28$ фф.

Изъ этого слѣдуетъ, что наивыгоднѣйшее употребленіе силы человѣка соотвѣтствуетъ поднятію 25 фунтовъ со скоростію 2 футовъ въ секунду. Наибольшая работа, доставляемая человѣкомъ, равна около седьмой части наибольшей работы лошади. На этомъ основаніи обыкновенно говорятъ, что работа одной лошади равна работѣ 7 человѣкъ.

Сила человѣка можетъ быть употреблена на рычагѣ, на блокѣ и на другихъ простыхъ машинахъ. При переноскѣ тяжестей расчитываютъ на силу человѣка обыкновенно до 80 фунтовъ со скоростію $3^1/_2$ футовъ въ секунду; работу эту можетъ производить человѣкъ около 7 часовъ въ день. Но наибольшее количество работы можетъ доставить человѣкъ, не увеличивая значительно своей усталости, тяжестію своего тѣла. Это количество, какъ показываютъ опыты, въ 7 разъ болѣе работы землекопа и почти въ $^2/_3$ болѣе работы производимой при вращеніи рукоятки. Поэтому наибольшую работу можетъ произвести человѣкъ въ тѣхъ приборахъ, въ которыхъ пройденный внизъ вѣсъ его тѣла безъ ноши совершаетъ дѣйствіе равное подъему какой нибудь тяжести на одинаковую высоту. Подобнаго рода приборы употребляютъ дѣйствительно при земляныхъ работахъ.

Главнѣйшее достоинство хорошихъ движителей заключается вообще въ непрерывности и равномѣрности движенія доставляемаго ими, хотя и есть случаи, когда отъ движителя требуется, чтобы онъ дѣйствовалъ только ударами, какъ напр. при растираніи различныхъ породъ руды — *толчеями*.

Не входя здѣсь въ ближайшее изслѣдованіе силы доставляемой другими движителями, какъ-то: вѣтромъ, водою и парами, мы считаемъ полезнымъ сдѣлать нѣсколько общихъ замѣчаній на счетъ выбора движителей

Сила животныхъ до настоящаго времени употребляется еще съ пользою для передвиженія различныхъ тяжестей; въ машинахъ же по причинѣ значительной стоимости этого движителя онъ мало по малу оставляется.

Сила вѣтра по причинѣ ея измѣняемости и малой зависимости отъ нашего произвола, не можетъ представлять для насъ большаго значенія.

Сила воды въ мѣстахъ обильныхъ рѣками и каналами, представляетъ большую важность, по малой стоимости своей, сравнительно съ расходами упо-

требляемыми на нее, Но вмѣстѣ съ тѣмъ она представляетъ и нѣкоторыя невыгоды, къ числу которыхъ относятся замерзаніе воды зимою, уменьшеніе ея во время лѣтней засухи и др. Всѣ эти обстоятельства производятъ временную остановку въ работѣ.

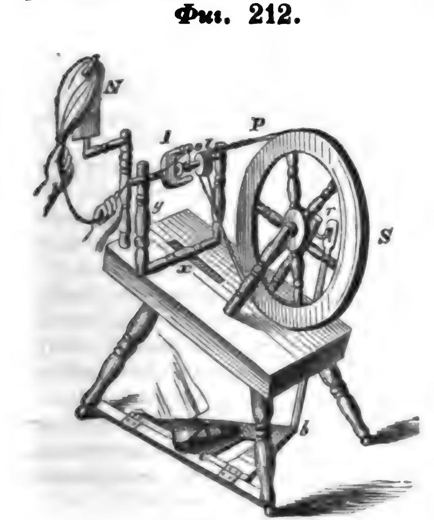
Сила пара, несопровождающаяся послѣдними неудобствами, представляетъ огромныя выгоды при техническихъ производствахъ, въ особенности въ мѣстахъ, имѣющихъ недостатокъ въ текучей водѣ. Но въ свою очередь она требуетъ постояннаго употребленія горючаго матеріала, имѣющаго въ иныхъ мѣстахъ значительную цѣнность, и кромѣ того при дѣйствіи парами необходимо извѣстное число опытныхъ рабочихъ для ухода за самою машиною. Но указанные нами недостатки значительно искупаются выгодами, представляемыми этимъ двигателемъ, который по всей справедливости можетъ быть названъ душею промышленности.

Описавъ условія, на которыхъ основано употребленіе различныхъ пріемниковъ, намъ слѣдуетъ перейти къ разсмотрѣнію *исполнительныхъ механизмовъ*. Но какъ устройство ихъ зависитъ отъ самой цѣли частныхъ производствъ, для которыхъ они употребляются, то ближайшее разсмотрѣніе ихъ не принадлежитъ общей механикѣ, а каждому частному производству, напр. прядильному, токарному и др.

Мы займемся теперь описаніемъ *приводовъ* движенія, между которыми разсмотримъ передаточные или трансмиссіонные валы, безконечный ремень и различные зубчатые приборы.

Прежде нежели мы займемся описаніемъ различныхъ машинъ, служащихъ для передачи движенія, разсмотримъ одинъ изъ самыхъ употребительнѣйшихъ въ общежитіи приборовъ, на которомъ ясно можно видѣть цѣль различнаго рода приводовъ. Мы говоримъ о *самопрялкѣ* (фиг. 212). Часть ея, производящая работу, т. е. веретено съ катушкою, должна быть установлена на такой высотѣ, чтобы прядильщица могла удобно работать и при томъ такимъ образомъ, чтобъ она нѣсколько скручивала и въ тоже время наматывала нить. Такъ какъ при этомъ руки прядильщицы заняты, то она не иначе можетъ приводить машину въ движеніе какъ ногами. Для этого употребляется одноплечій рычагъ (*cb*), при чемъ хотя часть силы теряется, но за то получается движеніе другаго конца доски съ значительною скоростію. Но доска при этомъ производитъ движеніе только вверхъ и внизъ, между тѣмъ какъ намъ нужно вращательное движеніе веретена; поэтому необходимо измѣнить поступательное движеніе въ вращательное. Съ этою цѣлію прикрѣпляютъ къ доскѣ шестъ, который соединенъ другимъ концемъ съ рукояткою (*r*), производящею круговое движеніе; но рукоятка не прямо соединена съ веретеномъ, потому что въ такомъ случаѣ вращательное движеніе веретена было бы довольно медленно, а кромѣ того неравномѣрно вслѣдствіе того, что нога производитъ только нажиманіе доски внизъ, но не поднимаетъ ее вверхъ. Поэтому рукоятка соединяется съ колесомъ *S*, имѣющимъ значительный вѣсъ; колесо это получивъ однажды движеніе, сохраняетъ его довольно долгое время равномѣрнымъ. Такимъ образомъ колесо въ нашемъ приборѣ служитъ не для измѣненія движенія, но для уравновѣшиванія или *регулированія* его. Полученное равномѣрное движеніе надобно передать къ части машины (*I*), производящей работу;

Фиг. 212.



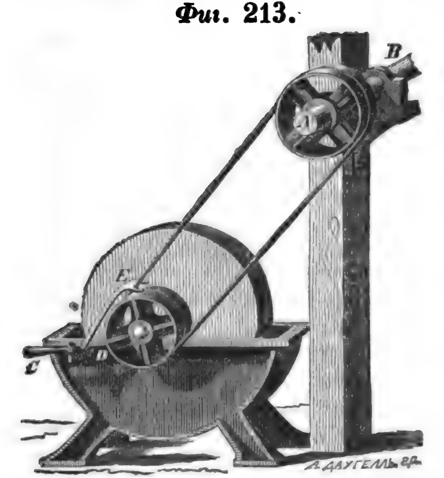
передача эта производится посредствомъ снура P, который идетъ къ веретену и въ то время, когда колесо одинъ разъ повернется, послѣдній заставляетъ веретено повернуться нѣсколько разъ. Этотъ простой приборъ показываетъ намъ, что машины, служащія для передачи движенія, имѣютъ троякую цѣль и потому могутъ быть раздѣлены на слѣдующіе отдѣлы: А. Приборы для передачи движенія. — В. Приборы, служащія для измѣненія движенія. — С. Приборы для регуливанія движенія.

A Приборы, служащія для передачи движенія.

Если зайдемъ въ механическую прядильню или въ механическую мастерскую, то по обѣ стороны отъ входа, во всю длину комнаты, увидимъ ряды машинъ въ полной дѣятельности, между тѣмъ не видимъ машины, къ которой движущая сила была бы непосредственно приложена. Но взглянувъ на потолокъ комнаты, увидимъ движущій валъ, проходящій иногда и въ слѣдующую комнату, гдѣ посредствомъ его передается движеніе различнымъ частямъ машины. Этимъ передаточнымъ валомъ отдѣльныя машины приводятся въ соединеніе; самъ же валъ получаетъ движеніе или посредствомъ водянаго колеса, или посредствомъ водяныхъ паровъ.

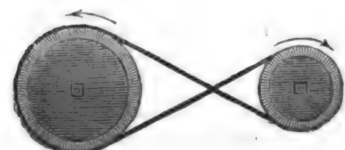
Безконечный ремень употребляется въ томъ случаѣ, когда нужно передать движеніе съ одного вала на другой ему параллельный, находящійся отъ перваго на извѣстномъ разстояніи, какъ напр. отъ вышеописаннаго вала къ прочимъ машинамъ. Для этой цѣли въ извѣстныхъ мѣстахъ укрѣпляются *вальки*, называемые *барабанами* и обращаемые вмѣстѣ съ валомъ; на валькахъ натянутъ ремень или снуръ, называемый *безконечнымъ*. Если такой ремень натянуть на окружность вала и валька такимъ образомъ, что треніе не позволяетъ ему скользить по нимъ, то очевидно, что вмѣстѣ съ вращеніемъ вала будетъ вращаться и валекъ. Фиг. 213 представляетъ валъ AB, приводящій въ движеніе валекъ E, насаженный на ось точильнаго камня, который вслѣдствіе этого вращается также на оси. Если желаютъ прекратить вращеніе камня, то ремень сдвигается рычагомъ DE на такъ называемый *свободный* валъ, который имѣетъ слабое соединеніе съ осью точильнаго камня. Очевидно, что при этомъ положеніи ремня обращается только свободный валъ, а камень остается въ покоѣ. Дѣйствіе это называется *освобожденіемъ*.

Фиг. 213.



Безконечный ремень бываетъ или *открытый* или *перекрещивающійся* (фиг. 214), что можно видѣть на обыкновенной самопрялкѣ, также на центробѣжной машинѣ. При употребленіи перекрещивающагося ремня, колеса должны вращаться въ противоположныя стороны и ремень идетъ отъ нижней части одного колеса къ верхней другаго.

Фиг. 214.



Въ отношеніи дѣйствія безконечнаго ремня должно замѣтить, что одна половина его, на-

зываемая *возбуждающею* стороною, всегда бываетъ сильнѣе натянута противу другой, потому что при этомъ только условіи можетъ происходить обращеніе валовъ.

Если два колеса *A* и *B*, по которымъ обходитъ безконечный ремень, одинаковаго діаметра и *A* приходитъ въ вращательное движеніе, то *B* получаетъ ту же скорость какъ и *A*, потому что при этомъ условіи всѣ точки каждаго колеса будутъ въ одно и то же время проходить одинаковый путь, описывая полный оборотъ вокругъ оси колесъ. Если же большое колесо приводитъ во вращеніе меньшее, котораго радіусъ въ два раза менѣе предъидущаго, то окружность втораго колеса будетъ въ два раза менѣе противу перваго, потому что окружности относятся между собою какъ радіусы. При этомъ условіи каждая точка окружности меньшаго колеса очевидно успѣетъ описать кругъ два раза въ то время, когда каждая точка окружности перваго колеса сдѣлаетъ только одинъ полный оборотъ. Слѣдовательно меньшее колесо сдѣлаетъ на оси два оборота въ то время, когда въ два раза бо́льшее противу него сдѣлаетъ только одинъ оборотъ. Примѣръ этотъ показываетъ намъ, что при употребленіи безконечнаго ремня можно достигать до произвольнаго числа оборотовъ, уменьшеніемъ діаметра одного изъ колесъ. Но при этомъ есть предѣлъ за которымъ уменьшеніе колеса не доставляетъ ожидаемыхъ результатовъ. Если радіусы колесъ будутъ весьма различны между собою, то ремень можетъ захватывать только весьма незначительную часть малаго колеса, такъ что между ними не будетъ существовать надлежащаго зацѣпленія и вслѣдствіе того остановится или ремень или колесо.

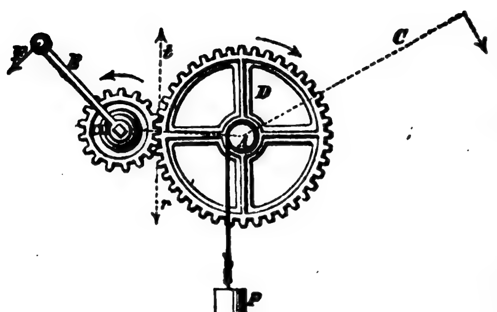
Желая получить значительное число оборотовъ, употребляютъ вмѣсто одного нѣсколько безконечныхъ ремней, находящихся между собою въ связи. Такъ напр. если отъ какой нибудь оси *A*, совершающей 10 оборотовъ въ секунду, желаютъ передать движеніе къ другой оси *B*, такимъ образомъ, чтобы послѣдняя дѣлала до 200 оборотовъ въ секунду, то отъ первой оси передаютъ движеніе къ вспомогательной оси *C*, радіусъ которой въ 4 раза болѣе радіуса оси *A*. Понятно, что колесо *C* при этихъ условіяхъ будетъ дѣлать до 40 оборотовъ въ секунду. На эту ось насаживаютъ колесо, соединяющееся безконечнымъ ремнемъ съ осью *B*. Если радіусы этихъ послѣднихъ относятся между собою какъ 5 къ 1, то ось *B* будетъ вращаться 300 разъ въ секунду. Напряженіе, которое необходимо доставить ремню для предупрежденія скользящаго движенія его, дѣйствуетъ въ видѣ давленія на оси колесъ и производитъ тамъ треніе, преодоленіе котораго поглощаетъ часть работы двигающей силы. Такъ какъ при этомъ для сильнаго натягиванія и ремни должны быть достаточной крѣпости, то обыкновенно натягиваніе ихъ никогда не должно быть болѣе того, сколько это необходимо для устраненія скользящаго движенія ремней.

Зубчатыя колеса составляютъ различные зубчатые приборы, передающіе движеніе съ одного вала на другой ближайшій параллельный къ первому или наклонный.

Къ зубчатымъ колесамъ можно отнести все сказанное нами при безконечномъ ремнѣ, т. е. что колеса одинаковаго діаметра переносятъ движеніе безъ измѣненія скорости съ одного вала на другой; если же одно колесо больше, то другое получаетъ силу вращенія во столько разъ большую, во сколько число зубцовъ перваго превышаетъ число зубцовъ на второмъ, потому что число зубцовъ находится въ зависимости отъ окружностей обоихъ колесъ, а окружности зависятъ отъ величины радіусовъ. Другое колесо можетъ вращать третье, а то четвертое, и т. д.; если величина колесъ при этомъ будетъ постепенно уменьшаться, то въ томъ же отношеніи будетъ увеличиваться скорость вращенія колесъ и смотря по надобности скорость эта можетъ достигнуть огромной величины.

Замѣтимъ теперь, что если на валъ маленькаго колеса *C* дѣйствуетъ сила *F* посредствомъ рукоятки *B* (фиг. 215) и діаметръ малаго колеса *C* составляетъ $\frac{1}{3}$ или $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{n}$ часть діаметра большаго колеса *D*, то сила *F* будетъ оказывать тоже самое дѣйствіе, какъ будто бы она была приложена прямо къ валу *A* большаго колеса *D* посредствомъ рычага въ 3, 4, 5 или *n* разъ длиннѣйшаго. Такъ какъ употребленіе длинныхъ рычаговъ невсегда бываетъ удобно, то замѣняютъ ихъ соединеніемъ цѣлой системы зубчатыхъ колесъ, изъ которыхъ меньшее, непосредственно приводимое въ движеніе, называется *побуждающимъ*.

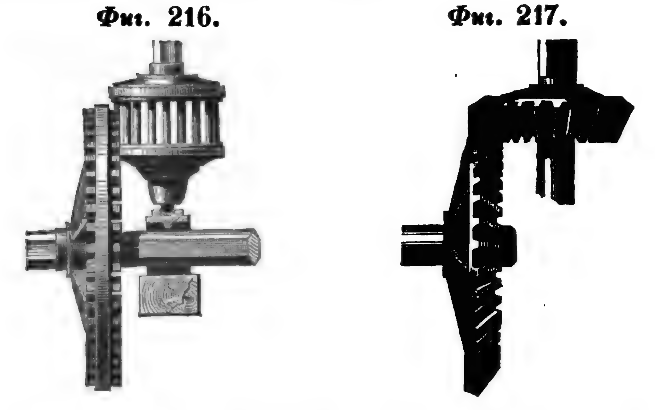
Фиг. 215.



Но выгода употребленія большаго числа колесъ ограничивается треніемъ, которое очевидно возрастаетъ съ увеличеніемъ числа ихъ.

Конусообразныя или *шарообразныя* зубчатыя колеса передаютъ движеніе изъ горизонтальнаго направленія въ вертикальное и на оборотъ (фиг. 216); дѣйствіе же ихъ обусловливается тѣми основаніями, которыя были выведены нами для обыкновенныхъ зубчатыхъ колесъ.

Фиг. 216. Фиг. 217.



Замѣтимъ здѣсь, что если сцѣпляются два неравныя зубчатыя колеса (фиг. 217), то большее изъ нихъ называется собственно *зубчатымъ*, а меньшее *шестерней*.

В. *Преобразованіе движеній.*

Описавъ главнѣйшіе приводы, употребляемые для выгоднѣйшей передачи движенія отъ пріемника къ исполнительному механизму, намъ остается только показать какимъ образомъ *посредствомъ приводовъ преобразовывается* движеніе сообщаемое пріемнику. Положимъ, что желая устроить пильный заводъ, мы можемъ воспользоваться силою текущей воды для приведенія въ движеніе пилы. Чтобы принять работу воды обыкновенно устроиваютъ вертикальное колесо съ лопатами; падающая на лопаты вода доставляетъ колесу вращательное движеніе. Пила же для дѣйствія своего требуетъ прямолинейнаго дви-

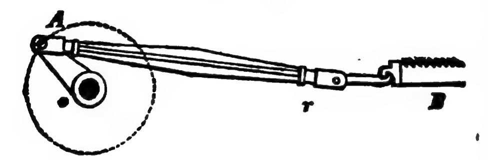
женія взадъ и впередъ. Поэтому необходимо устроить такой приводъ, посредствомъ котораго можно бы было преобразовать вращательное движеніе колеса въ прямолинейное движеніе пилы взадъ и впередъ.

Понятно, что при этомъ задача должна состоять въ томъ, чтобы преобразованіе движенія совершалось наивыгоднѣйшимъ образомъ для исполнительнаго механизма.

Это преобразованіе движенія можетъ быть совершаемо самыми разнообразными способами, изъ которыхъ мы укажемъ только на нѣкоторыя.

Для преобразованія непрерывнаго круговаго движенія въ непрерывное прямолинейное, употребляютъ на пильныхъ заводахъ шатунъ съ рукояткою, представленный на фиг. 218, которая объясняетъ наглядно самый способъ преобразованія круговаго движенія колеса *A* въ прямолинейное движеніе пилы *B*.

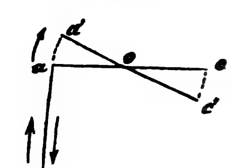
Фиг. 218.



Понятно, что тотъ же самый шатунъ съ рукояткою можетъ служить и для обратнаго преобразованія движенія изъ непрерывнаго прямолинейнаго въ непрерывное круговое.

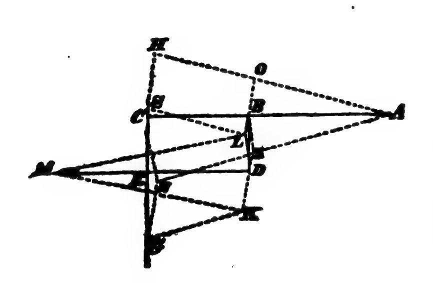
Но весьма часто встрѣчается необходимость преобразовать попеременное прямолинейное движеніе въ попеременное круговое. Такъ напр. если къ двигающемуся взадъ и впередъ отвѣсному шесту *ab* (фиг. 219), прикрѣпленъ горизонтальный шестъ *ac*, то чтобы доставить послѣднему возможность двигаться взадъ и впередъ вокругъ точки *o*, какъ на оси необходимо, чтобы оконечность его *a* могла двигаться по дугѣ *aa′*. Понятно, что этого нельзя достигнуть въ томъ случаѣ, когда оконечности шестовъ соединены между собою неизмѣнно, потому что конецъ шеста *ab*, двигающагося только взадъ и впередъ по прямой линіи, не можетъ двигаться по дугѣ. Для произведенія соотвѣтствующаго этому случаю преобразованія движенія, употребляютъ преимущественно приборъ, извѣстный подъ названіемъ параллелограма Уата.

Фиг. 219.



На фиг. 220 представлено очертаніе этого прибора. На внѣшней оконечности, вращающагося около точки *A*, шеста *CA*, прикрѣпляютъ два стержня *CE* и *BD*, соединенные между собою внизу поперечнымъ стержнемъ *ED*. Всѣ эти стержни, свободно вращающіеся на шарнерахъ около точекъ своего соединенія *C*, *B*, *D* и *E*, образуютъ подвижной параллелограмъ *CBDE*. Съ концемъ этого параллелограма *E* соединенъ точно также отвѣсный стержень, движущійся поперемѣнно внизу и кверху. Если верхній конецъ стержня будетъ уклоняться немного то вправо, то влѣво отъ отвѣсной линіи, проходящей чрезъ точку *e* при горизонтальномъ положеніи коромысла *CA*, то ясно, что при подобномъ движеніи оконечности шеста должно измѣняться и положеніе соединеннаго съ нимъ параллелограма относительно *CBDE* коромысла *CA*. Такимъ образомъ при наибольшемъ поднятіи шеста параллелограмъ приметъ

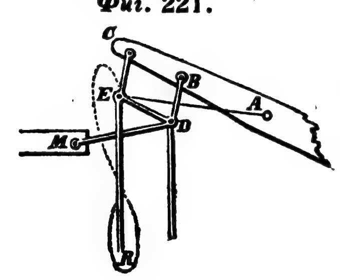
Фиг. 220.



положеніе *HCLO*, а при наибольшемъ опусканіи *NGKZ*. При этомъ очевидно точка *D* должна будетъ проходить послѣдовательно чрезъ точки *K*, *D*, *L*, а для подобнаго движенія необходимо, чтобы точка *D* управлялась рычагомъ, обращающимся неподвижно около точки *M*, положеніе которой соотвѣтствуетъ центру дуги, проходящей чрезъ эти три точки *K*, *D* и *L*.

На фиг. 221 представленъ параллелограмъ Уата *CEDB* и показана точками кривая линія, которую стремится описать конецъ его *E* при различныхъ положеніяхъ параллелограма. Эта кривая линія, имѣющая видъ цыфры 8, очень мало удаляется отъ вертикальной линіи *CR* въ предѣлахъ движенія коромысла, такъ что стержень производитъ достаточно вертикальное движеніе при поперемѣнномъ поднятіи и опусканіи своемъ.

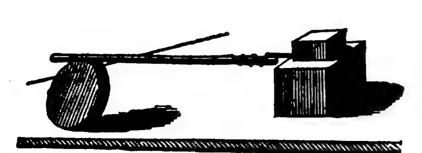
Фиг. 221.



При описаніи фабричной паровой машины мы будемъ имѣть случай видѣть примѣненіе этого прибора.

Для преобразованія непрерывнаго круговаго движенія въ поперемѣнное, употребляется такъ называемый *эксцентрическій* кружекъ. Устройство его основано на слѣдующемъ: возмемъ деревянный достаточной толщины кружекъ (фиг. 222) и проткнемъ сквозь него желѣзный прутъ, такъ чтобы онъ не проходилъ сквозь центръ кружка; потомъ возмемъ линейку и къ одному концу ея привяжемъ веревку, другой конецъ веревки укрѣпимъ между двумя брусьями; линейку положимъ на обводъ кружка. Если станемъ вращать кружекъ около желѣзнаго прута, то линейка придетъ въ поперемѣнное движеніе то вверхъ, то внизъ, т. е. она будетъ то приближаться, то удаляться отъ желѣзнаго прута. Иногда эксцентрическому кружку даютъ сердцевидную форму. Приложеніе эксцентрическаго кружка можно видѣть при управленіи паровыми машинами; сердцевидный же употребляется въ прядильной машинѣ, гдѣ катушка движется взадъ и впередъ, чтобы нить равномѣрно наматывалась во всѣхъ мѣстахъ.

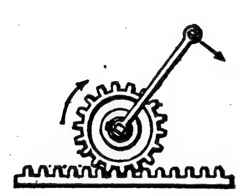
Фиг. 222.



Укажемъ еще на нѣсколько примѣровъ преобразованія движенія, производимаго зубчатыми колесами.

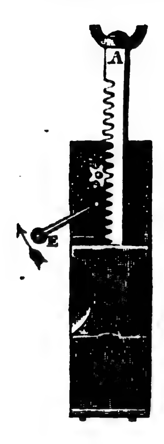
Весьма часто соединяютъ зубчатое колесо съ желѣзною полосою, снабженною также зубцами (фиг. 223), такъ что когда мы посредствомъ рукоятки станемъ приводить колесо въ вращательное движеніе, то полоса будетъ двигаться по направленію своей длины въ сторону противоположную указанію проведенныхъ на чертежѣ стрѣлокъ. Понятно, что въ этомъ случаѣ зубчатая полоса представляетъ сопротивленіе, которое распространяется равномѣрно по всѣмъ зубцамъ вращающагося колеса. Примѣняя къ законамъ равновѣсія ворота дѣйствіе этого прибора мы найдемъ, что сила будетъ относиться на немъ къ сопротивленію такъ, какъ радіусъ колеса относится къ радіусу окружности, описываемой рукояткою. Слѣдовательно, чѣмъ длиннѣе рукоятка относительно поперечника колеса, тѣмъ выгоднѣе употреблять этотъ приборъ.

Фиг. 223.



Подобное преобразованіе движеній мы встрѣчаемъ въ машинѣ (фиг. 224), служащей для подниманія на небольшую высоту очень тяжелыхъ тѣлъ. Устройство этой машины, обыкновенно называемой *домкратомъ*, слѣдующее:

Фиг. 224.

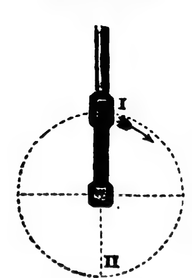


Зубчатая полоса *A* сцѣпляется съ зубчатымъ колесомъ *C*, называемымъ шестернею. На оси шестерни прикрѣплено зубчатое колесо *B*, которое поворачивается вмѣстѣ съ шестернею *C* и задѣваетъ за зубцы другаго зубчатаго колеса, лежащаго подъ колесомъ *B*. Къ оси нижняго зубчатаго колеса придѣлана рукоятка *E*. Чтобы поднять зубчатую полосу A кверху, а вмѣстѣ съ тѣмъ и тѣло, которое опирается на верхушку ея, поворачиваютъ рукоятку по направленію показанному стрѣлкою; при этомъ нижнее зубчатое колесо будетъ поворачиваться въ ту же самую сторону и заставитъ обращаться колесо *B*, а вмѣстѣ съ тѣмъ и шестерню *C*, которая въ свою очередь будетъ заставлять подниматься вверху самую полосу. Зная законы равновѣсія силъ въ воротахъ, не трудно найти и въ этой машинѣ отношеніе между силою и сопротивленіемъ.

C. *Машины, служащія для уравненія или регулированія движенія.*

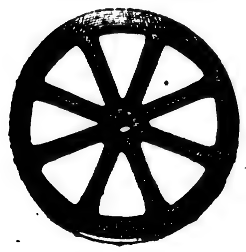
Опытъ показываетъ намъ, что ни въ одной машинѣ не существуетъ одинаковаго отношенія между силой и сопротивленіемъ во все продолженіе дѣйствія силы. Измѣненіе этого отношенія въ разные моменты движенія, происходящее отъ различныхъ обстоятельствъ, влечетъ за собою неравномѣрность движенія машинъ. Такъ напр., если мы преобразовываемъ поперемѣнное поступательное движеніе въ непрерывное круговое и если при этомъ сила дѣйствуетъ сверху на шатунъ, то когда послѣдній находится на прямой линіи съ рукояткою (фиг. 225), то онъ не сообщаетъ послѣдней никакого движенія, но только тянетъ кверху и потому увеличиваетъ только треніе оси. Точка I, въ которой сила не оказываетъ никакого дѣйствія, называется *мертвою точкою* круговаго движенія. Потомъ рукоятка идетъ вправо съ постоянно возрастающею скоростію до тѣхъ поръ, пока не придетъ въ горизонтальное положеніе, за тѣмъ скорость ее уменьшается и когда снова приметъ вертикальное положеніе въ точкѣ II, то сила не будетъ ей сообщать движенія, но будетъ производить одно только давленіе. Точка II называется *второю мертвою точкою*. При возвратномъ движеніи рукоятки до половины пути скорость увеличивается; во второй половинѣ пути уменьшается и такимъ образомъ снова доходитъ до первой мертвой точки. Ясно, что при такомъ устройствѣ, движеніе по окружности будетъ совершаться то скорѣе, то медленнѣе.

Фиг. 225.



Для устраненія этого неудобства при значительныхъ работахъ употребляютъ большое тяжелое чугунное колесо (фиг. 226), приводимое въ вращательное движеніе самою машиною. Колесо это называется *маховымъ*. Если сила мгновенно увеличивается, то это увеличеніе силъ простирается и на маховое колесо, и потому не будетъ такъ чувствительно для всей машины; если же, на оборотъ, движущая сила уменьшится и даже совершенно прекратится, то дѣйствіе машины чрезъ это тотчасъ же не измѣнится, потому что по законамъ инерціи колесо нѣкоторое, хотя короткое, время будетъ сохранять пріобрѣтенную скорость и передастъ ее прочимъ

Фиг. 226.



частямъ машины, которыя поэтому не будутъ прекращать движенія во время остановки непосредственнаго дѣйствія на нихъ двигающей силы. На этомъ основаніи сравниваютъ маховое колесо съ резервуаромъ, пріобрѣтающимъ постоянный запасъ работы, которая и составляетъ живую силу рычага.

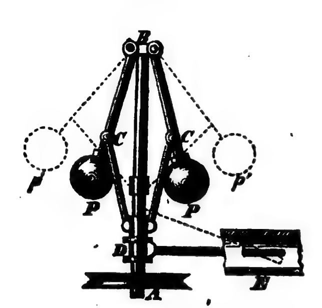
Это постоянное накопленіе запаса работы въ маховомъ колесѣ, не можетъ впрочемъ служить поводомъ къ увеличенію силы машины, съ которою соединено колесо, потому что тяжесть колеса имѣетъ вліяніе на увеличеніе тренія, обнаруживаемаго осью его. Сверхъ того по причинѣ значительнаго объема и пріобрѣтенной скорости оно претерпѣваетъ сопротивленіе воздуха, которое также производитъ потерю въ движущей силѣ. Хотя потеря эта и не позволяетъ расчитывать на увеличеніе движущей силы машины, но относительно самого уравненія движенія она не представляетъ значительнаго сопротивленія.

Маховое колесо употребляется въ валяльной машинѣ, въ машинахъ чеканящихъ монету, въ карманныхъ часахъ и др.

Но кромѣ приборовъ для уравниванія движенія необходимо имѣть также и такіе приборы, которые могли бы показывать самую степень неравномѣрности движенія во все продолженіе дѣйстія машины. Такъ напр. при сильномъ нагрѣваніи котла паровой машины, можетъ отъ различныхъ причинъ быстро образоваться значительное количество паровъ, чрезъ что конечно ускорится производимое ими дѣйствіе въ самой машинѣ, а въ иныхъ случаяхъ можетъ даже произойти самый разрывъ пароваго котла. Поэтому при сильномъ ускореніи движенія или должно уменьшить нагрѣваніе котла или выпустить излишнее количество пара.

Неравномѣрность движенія машины, служащая признакомъ измѣняющагося дѣйствія самой машины, можетъ быть обнаружена посредствомъ такъ называемаго *центробѣжнаго маятника*, который такъ соединенъ съ машиною, что при измѣненіи скорости движенія самъ управляетъ дѣйствіемъ пара. Этотъ маятникъ, иначе называемый *регуляторомъ*. состоитъ изъ вертикальной оси *AB* (фиг. 227), къ которой прикрѣплены вращающіеся на шарнерахъ два стержня съ тяжелыми шарами *P* и *P* на концахъ. Ось *AB*, посредствомъ придѣланнаго къ ней колеса, соединяется съ двигающимися частями машины и приходитъ чрезъ то въ вращательное движеніе съ извѣстною скоростію, соотвѣтствующею скорости самой машины. Если скорость движенія машины увеличится, то вмѣстѣ съ тѣмъ увеличится и скорость вращенія регулятора, и потому увеличится центробѣжная сила шаровъ *P*, которые очевидно будутъ описывать при вращеніи оси круговое движеніе. Съ увеличеніемъ центробѣжной силы, шары будутъ стремиться къ удаленію отъ оси, и вслѣдствіе того подниматься кверху. Вмѣстѣ съ поднятіемъ шаровъ будетъ подниматься соединенное съ ними кольце *D*, обхватывающее ось *AB*. Кольце *D* поднимаетъ рычагъ *DE*, посредствомъ котораго открывается клапанъ котла и лишнее количество пара выходитъ вонъ. При подобномъ устройствѣ упругость паровъ въ паровой машинѣ не будетъ переходить за извѣстный предѣлъ, а слѣдовательно ходъ машины не можетъ увеличиваться болѣе этого предѣла.

Фиг. 227.



Разсмотримъ отдѣльно важнѣйшіе механическіе двигатели, приводы и уравнители, подробное разсмотрѣніе которыхъ составляетъ собственно предметъ механики; мы считаемъ полезнымъ показать взаимное отношеніе ихъ при устройствѣ одной изъ употребительнѣйшихъ сложныхъ машинъ — карманныхъ часовъ.

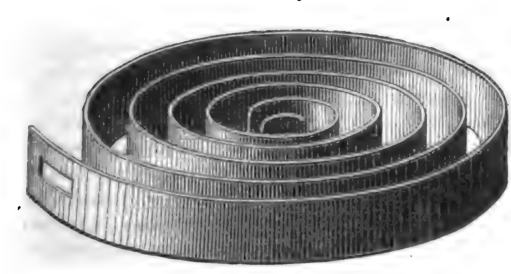
Мы не имѣемъ никакого другаго средства для точнѣйшаго измѣренія времени кромѣ движенія. Самый простой и древнѣйшій способъ опредѣленія времени состоялъ въ наблюденіи надъ теченіемъ небесныхъ тѣлъ. Очевидно, что такой способъ невсегда возможенъ; поэтому обратились къ искусственнымъ пособіямъ, для чего выбраны были вода и песокъ. Такимъ образомъ въ самыя отдаленныя времена мы встрѣчаемъ водяные и песочные часы (фиг. 228), которые состоятъ въ томъ, что вода или песокъ переливаются или пересыпаются изъ одного сосуда въ другой; понятно, что нельзя ожидать отъ такихъ часовъ равномѣрности хода, потому что первыя частицы жидкости, вслѣдствіе давленія верхнихъ слоевъ, будутъ выходить съ бо̀льшею скоростію нежели послѣдующія.

Фиг. 228



Если мы приведемъ какое нибудь тѣло въ совершенно однообразное движеніе, такъ чтобы оно въ равныя времена проходило бы равныя пространства, то это движеніе можетъ доставить намъ средство къ измѣренію времени. Съ этою цѣлію при устройствѣ карманныхъ часовъ, пользуются движеніемъ доставляемымъ упругостію стальной машины. Если бы движеніе это было равномѣрно, то очевидно, что вся задача состояла бы въ томъ, чтобы обнаружить наиболѣе нагляднымъ образомъ движеніе совершаемое пружиною въ равныя времена. Въ этомъ случаѣ стоило бы только взять закаленную стальную полоску свернутую въ спираль (фиг. 229 и 230), внѣшній конецъ которой прикрѣпленъ къ неподвижной точкѣ, а внутренній къ вращающейся оси. Если вращеніемъ оси натянуть обвивающую ее пружину и потомъ предоставить послѣднюю самой себѣ, то очевидно, что сила упругости будетъ заставлять пружину принять первоначальное ея положеніе. Вслѣдствіе того она начнетъ развертываться въ противоположную сторону и будетъ доставлять вращеніе соединенной съ нею оси по одному направленію съ собственнымъ движеніемъ.

Фиг. 229.



Фиг. 230.



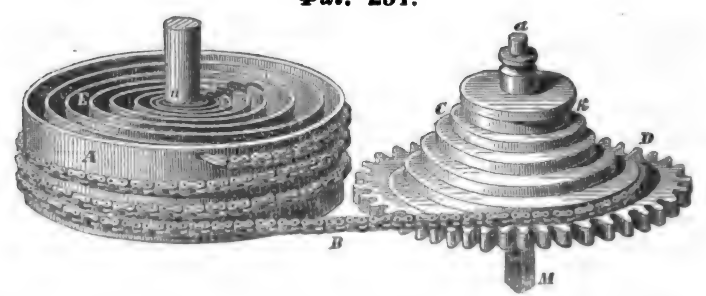
Но какъ при развертываніи пружины, движеніе оси въ малые промежутки времени совершенно ускользало бы отъ глаза, то для обнаруженія этого движенія, можно было бы прикрѣпить къ оси подъ прямымъ угломъ стрѣлки, наружный конецъ которой двигался бы по кругу съ равными дѣленіями. При такомъ устройствѣ движеніе стрѣлки могло бы доставлять намъ средство къ измѣренію времени только при двухъ условіяхъ. Вопервыхъ, еслибы развертываніе пружины отъ самого начала и до конца происходило бы *равномѣрно*, потому что только въ этомъ случаѣ конецъ стрѣлки могъ бы проходить по кругу съ дѣленіями равныя пространства въ равныя времена, и во вторыхъ, развертываніе пружины не должно совершаться слишкомъ быстро, потому что тогда мы не были бы въ состояніи оцѣнивать движеній оси, соотвѣтствующихъ малымъ промежуткамъ времени.

Что касается до перваго условія, то опытъ показываетъ намъ, что развертываніе сильно натянутой пружины не происходитъ равномѣрно, но въ началѣ оно совершается весьма быстро, а потомъ сильно ослабѣваетъ. Понятно, что стрѣлка получила бы при этомъ весьма неоднообразное вращательное движеніе.

Чтобы устранить это неудобство и вмѣстѣ съ тѣмъ замедлить развертываніе пружины, придумывали различные механизмы.

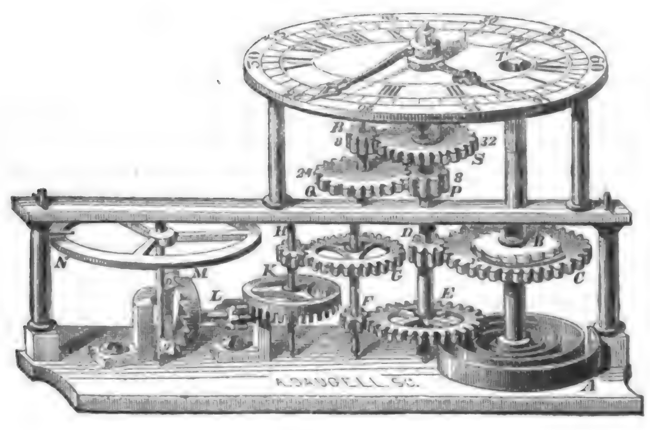
Прежде всего старались уравнить движеніе пружины устройствомъ *улиткообразнаго* колеса *D* (фиг. 231). Посредствомъ часоваго ключика приводится во

Фиг. 231.



вращеніе конусообразное колесо *D*, верхняя часть котораго имѣетъ улиткообразные обходы *C*. Колесо это цѣпочкою *B* соединяется съ барабаномъ *A*, на который наматывается и укрѣпляется цѣпочка. Одинъ конецъ пружины *E* прикрѣпленъ ко внутренней сторонѣ барабана, а другой удерживается неподвижнымъ штифтомъ *n*. Въ то время, когда мы заводимъ часы, то цѣпочка сходитъ съ барабана и наматывается на обходы улитки; барабанъ при этомъ, вращаясь нѣсколько разъ, натягиваетъ пружину, которая сдѣлавшись свободною снова развертывается и приводитъ барабанъ въ движеніе противоположное первоначальному. При этомъ движеніи барабанъ посредствомъ цѣпочки передаетъ движеніе улиткообразному колесу *D*, отъ зубцевъ котораго приходитъ въ движеніе и остальная масса колесъ. Тотчасъ послѣ заведенія часовъ, т. е. когда пружина натянута самымъ сильнымъ образомъ, она дѣйствуетъ посредствомъ цѣпочки на верхній обходъ (*k*) улитки, имѣющей *самый малый діаметръ*. По мѣрѣ дальнѣйшаго развертыванія пружины, цѣпочка сходитъ все съ большихъ и большихъ обходовъ, такъ что постоянно уменьшающаяся сила упругости пружины дѣйствуетъ на постоянно увеличивающееся плечо рычага; чрезъ что мы получаемъ уравненіе хода часовъ. Но для совершеннаго уравненія хода часовъ недостаточно еще описаннаго устройства; оно даже вовсе не употребляется у часовъ, приспособленныхъ къ наиболѣе точному измѣренію времени.

Фиг. 232.



Сущность устройства употребляемаго въ настоящее время какъ для уравненія, такъ и для замедленія развертыванія пружины въ карманныхъ часахъ, представлена на фиг. 232, гдѣ для большей ясности нѣкоторыя части показаны въ увеличенномъ и растянутомъ видѣ.

Прежде описанія самаго устройства должно замѣтить, что изображенныя на фигурѣ колеса *P*, *Q*, *R* и *S* представляютъ систему зубчатыхъ колесъ, приводящую въ движеніе стрѣлки, а вмѣстѣ съ тѣмъ и прочія части хода.

Посредствомъ штифта *T* натягивается пружина *A* или, какъ говорятъ, часы заводятся; отъ чего упругость пружины приводитъ въ обращеніе въ противоположную сторону какъ собственную ось, такъ и прикрѣпленное къ ней колесо *C*, называемое *нижнимъ колесомъ*.

Колесо *C* задѣваетъ за шестерню *D* и тѣмъ приводитъ въ движеніе систему колесъ, назначенныхъ для движенія стрѣлокъ. Упругость пружины и устройство колесъ должны быть таковы, чтобы малое колесо *P*, называемое *минутнымъ колесомъ*, въ продолженіи часа обращалось одинъ разъ. На концѣ этой оси прикрѣплена минутная стрѣлка, которая въ продолженіе одного часа совершаетъ по кругу одинъ, а слѣдовательно въ продолженіи 12 часовъ должна сдѣлать 12 обходовъ. Извѣстно, что часовая стрѣлка въ теченіи 12 часовъ должна пройти только одинъ обходъ. Это достигается слѣдующимъ образомъ: ось часовой стрѣлки имѣетъ внутри выемку на подобіе внутренности трубки; этой выемкой она надѣвается на ось минутной стрѣлки. Къ оси часовой стрѣлки прикрѣплено зубчатое колесо *s*. Посредствомъ нѣсколькихъ зубчатыхъ колесъ *двѣнадцатиразовое* обращеніе колеса *P* переходитъ въ одиночное обращеніе часоваго колеса *s*. Для этой цѣли минутное колесо, снабженное восемью зубцами, задѣваетъ за колесо *Q*, имѣющее 24 зубца; и ось послѣдняго вмѣстѣ съ укрѣпленною шестернею *R* производитъ 3 оборота въ продолженіе 12 часовъ. У шестерни *R* 8 зубцевъ, задѣвающихъ за 32 зубца *часоваго колеса S*, которое слѣдовательно обращается только *одинъ* разъ, тогда какъ *R* дѣлаетъ 4 оборота, а минутное колесо — 12.

Разсматривая далѣе механизмъ часовъ, увидимъ, что среднее колесо *E* распространяетъ движеніе на шестерню *F*, на *промежуточное* колесо *G* и *коронное* колесо *K*, которое передаетъ далѣе движеніе посредствомъ шестерни *L* на колесо *M* съ восходящими зубцами. Передъ колесомъ *M* мы видимъ перпендикулярную къ нему ось, вверху которой находится небольшое маховое колесо *N*, извѣстное у часовыхъ мастеровъ подъ названіемъ *баланса*. На этой оси придѣланы двѣ пластинки или крылья *o* и *o'*, разстояніе между которыми равно діаметру колеса *M*. Крылья эти перпендикулярны другъ къ другу по своему положенію къ оси. Послѣднія части съ колесомъ *M* образуютъ *часовой ходъ*.

Если зубецъ верхней части колеса *M* задѣваетъ верхнее крыло *o*, то послѣднее получаетъ ударъ назадъ. Тотчасъ послѣ того встрѣчаетъ нижнее крыло *o'* нижній зубецъ колеса *M*; такъ что, вообще, пока вращается колесо *M*, крылья *o* и *o'* получаютъ удары то впередъ, то взадъ. А какъ съ осью соединенъ балансъ, то очевидно, что послѣдній отъ каждаго толчка приходитъ въ движеніе на четверть окружности то взадъ и впередъ. Такое движеніе баланса называется *колебаніемъ*. Поэтому когда каждое крыло встрѣчается съ зубцемъ колеса *M*, то послѣднее получаетъ отъ баланса толчекъ назадъ, потому что балансъ по инерціи стремится къ сохраненію сообщеннаго ему движенія. Слѣдовательно поперемѣнныя движенія баланса взадъ и впередъ производятъ равномѣрныя задерживанія въ движеніи колеса *M*, которое отъ того получаетъ стремленіе къ совершенію правильнаго вращенія.

Понятно, что вращеніе колеса *M* можетъ быть совершенно правильно только въ томъ случаѣ, когда поперемѣнныя колебанія баланса взадъ и впередъ совершаются одновременно. Но этого однако на самомъ дѣлѣ не бываетъ, потому что пружина, производящая первоначально колебанія баланса и постоянно поддерживающая эти колебанія, сама движется неравномѣрно, такъ что неравномѣрность движущей силы распространяется и на балансъ. Поэтому, чтобы доставить равномѣрность балансу, прикрѣпляютъ къ нему на подобіе волоса тонкую спиральную пружину, называемую *волоскомъ*. Если легкимъ толчкомъ сообщить движеніе балансу, то при этомъ свернется стальной воло-

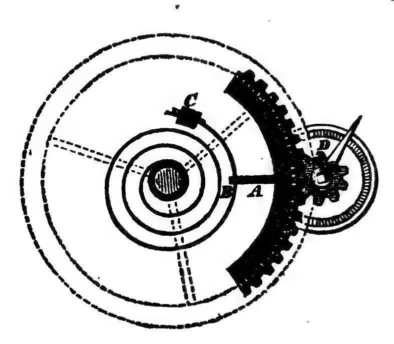


сокъ, который вслѣдствіе своей упругости начнетъ потомъ развертываться и будетъ стремиться привести балансъ въ его первоначальное положеніе, отъ чего балансъ произведетъ движеніе противоположное тому, которое сообщено толчкомъ. Во время этого движенія взадъ и впередъ крылья *o* и *o'* произведутъ два, слѣдующія другъ за другомъ, удара объ зубцы колеса *M*. Удары эти поддерживаютъ движенія баланса, которыя уравновѣшиваются сами упругостію волоска и въ тоже время служатъ причиною правильнаго движенія колеса *M*.

Изъ сдѣланнаго нами описанія не трудно замѣтить, что часы управляются колебаніями баланса; поэтому колебанія эти должны совершаться сами *въ продолженіе опредѣленнаго времени*. Часы будутъ идти впередъ, если эти колебанія слѣдуютъ быстро другъ за другомъ; въ противномъ случаѣ они отстаютъ. И потому надобно пріискать средство для сообщенія требуемой продолжительности колебаніямъ баланса. Этого можно достигнуть удлиненіемъ или укорачиваніемъ *спирали* по произволу, потому что упругость спирали увеличивается съ укорачиваніемъ и уменьшается съ увеличеніемъ длины ея.

Такое устройство называется *поправкою* (correction). Стальная спираль (фиг. 233), проходитъ при *B* чрезъ прорѣзъ рычага *A*, который соединенъ съ зубчатою дугою круга. Вслѣдствіе такого устройства упругость спирали дѣйствуетъ только съ точки *B*. Если теперь стрѣлка *D* приходитъ въ движеніе въ ту или другую сторону, то отъ задѣванія шестерни недѣйствующая часть спирали *BC* укорачивается или удлиняется и такимъ образомъ колебаніямъ доставляется требуемая продолжительность.

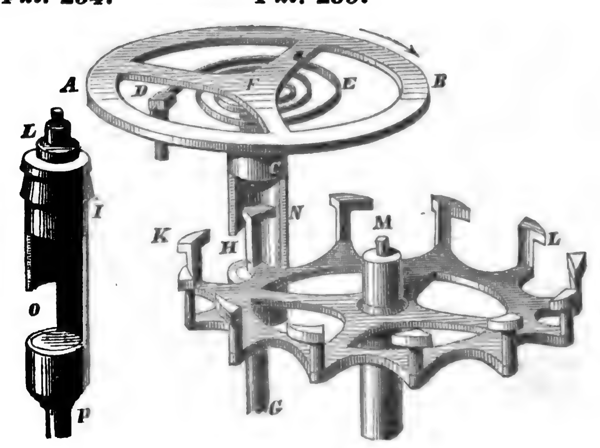
Фиг. 233.



Но описанные нами часы по причинѣ перпендикулярности стоячаго колеса *M* къ остальному ходу должны имѣть достаточную толщину. Этотъ недостатокъ плоскости не позволяетъ носить ихъ удобно въ карманѣ, а потому въ новѣйшее время всѣ усилія механиковъ стремились къ тому, чтобы замѣнить причину этого неудобства другимъ устройствомъ.

Задача очевидно заключалась въ томъ, чтобы придумать такое сообщеніе баланса съ стоячимъ колесомъ *M*, которое позволяло бы дать послѣднему горизонтальное положеніе. Это сообщеніе достигается при помощи такъ называемаго *цилиндрическаго задерживанія*, придуманнаго французскимъ механикомъ *Брегетомъ*. Такъ какъ подобное соединеніе встрѣчается во всѣхъ плоскихъ карманныхъ часахъ, то мы считаемъ нелишнимъ привести здѣсь его описаніе.

Фиг. 234. *Фиг.* 235.



Мы уже знаемъ, что стоячее колесо *M* (фиг. 234) приводится во вращеніе упругостію часовой пружины при посредствѣ системы зубчатыхъ колесъ. Брегетъ расположилъ это колесо *KLM* (фиг. 235) горизонтально, такъ чтобы вращеніе его совершалось при помощи зубчатыхъ колесъ на вертикальной оси *MO*. На горизонтальномъ колесѣ онъ укрѣпилъ двѣнадцать особен-

нымъ образомъ закривленныхъ зубцовъ. Крючками этихъ зубцовъ колесо *KLM* дотрогивается до горизонтальнаго баланса, вращающагося возлѣ него также на вертикальной оси, приводимой въ движеніе подобно колесу *KLM* общею системою зубчатыхъ колесъ. Стволъ оси баланса состоитъ въ верхней части изъ полаго стальнаго цилиндра, имѣющаго при *CH* особенной формы вырѣзку, форма которой показана на фиг. 234. Часть цилиндра, расположенная надъ выемкою играетъ самую важную роль. Вслѣдствіе колебаній баланса цилиндръ *NH* можетъ вращаться около оси *G* то въ одну, то въ другую сторону. При положеніи цилиндра, представленномъ на фиг. 235, сплошная часть цилиндра, противоположная выемкѣ, задерживаетъ посредствомъ зубца *N* восходящее колесо.

Въ историческомъ отношеніи должно замѣтить, что часовая система колесъ въ древности вовсе была неизвѣстна и достовѣрно нельзя указать ни на изобрѣтателя, ни на самое время изобрѣтенія ихъ. Обыкновенно приписываютъ изобрѣтеніе карманныхъ часовъ Нюренбергскому уроженцу Петру Геле въ 1560 году.

Требуемая же точность въ ходѣ часовъ достигнута была знаменитымъ голландскимъ физикомъ Гюйгенсомъ 1657 г.

Въ заключеніе механической статьи мы скажемъ здѣсь о способѣ измѣренія работы двигателей.

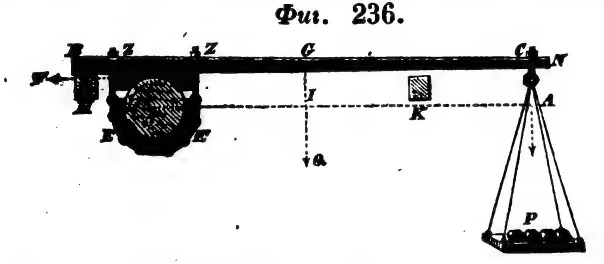
Работа различныхъ двигателей, какъ напр. водяныхъ колесъ, паровыхъ машинъ и др., заключается въ доставленіи вращенія *валу*, отъ котораго, какъ мы уже говорили, сообщается движеніе различнымъ *приводамъ*, передающимъ это движеніе каждому орудію, назначенному для производства извѣстнаго рода работы.

Для опредѣленія полезной работы производимой машиною, обыкновенно освобождаютъ валъ отъ всѣхъ приводовъ и вообще отъ всего того, что составляетъ сопротивленіе его движенію. Потомъ противоставляютъ этому валу такое искусственное сопротивленіе, которое легко было бы опредѣлить. Давая этому сопротивленію различныя величины можно привести машину въ такое положеніе, при которомъ она будетъ совершать обыкновенное свое движеніе, сообщаемое ей силою двигателя; слѣдовательно когда машина находится въ обыкновенномъ своемъ отношеніи къ движителю. Ясно, что измѣряя работу, обнаруживаемую машиной для уничтоженія противоставляемаго ей сопротивленія, мы получимъ работу, которую производитъ машина при обыкновенномъ своемъ дѣйствіи на приводы.

Для опредѣленія искусственнаго сопротивленія употребляютъ *динамометрическій нажимъ*, называемый также по имени изобрѣтателя *нажимомъ Прони*.

На фиг. 236 *A* представляетъ разрѣзъ горизонтальнаго вала машины, на который надѣваютъ нажимъ. Рычагъ *BC* снабженъ деревяннымъ приставомъ *D*

Фиг. 236.



съ выемкой снизу, позволяющей ему обхватывать валъ. Металлическая цѣпь *EE* обложена со внутренней стороны деревянными брусками, обхватывающими нижнюю часть вала. Съ помощію винтовыхъ гаекъ *Z* и *Z* какъ доска *D*, такъ и бруски цѣпи прижимаются плотно къ валу. Къ концу рычага *C* привязывается небольшой помостъ для накладыванія гирь. Упоры *H* и *K* располага-

ются такъ, чтобы рычагъ обращался въ ту или другую сторону вокругъ вала и не слишкомъ бы уклонялся отъ горизонтальнаго своего положенія.

Положимъ, что валу *A* сообщено движеніе посредствомъ двигательной машины, силу которой мы хотимъ измѣрять и что при этомъ какъ деревянный выступъ *D*, такъ и самая цѣпь плотно прижаты къ поверхности вала. Обхваченный этими обоймицами, валъ будетъ стремиться приводить рычагъ *BC* по направленію собственнаго своего движенія и рычагъ дѣйствительно описывалъ бы кругъ, если бы не встрѣчалъ сопротивленія со стороны упора *H*, который удерживаетъ его въ неподвижномъ положеніи. Понятно, что при этомъ условіи все дѣйствіе вала будетъ ограничиваться однимъ вращеніемъ въ обхватывающихъ его обоймицахъ. Треніе, происходящее вслѣдствіе этого вращенія очевидно будетъ составлять сопротивленіе дѣйствующее на валъ и стремящееся къ уничтоженію его движенія. Ясно, что прикрѣпляя или ослабляя гайки *Z* и *Z* мы можемъ доставить машинѣ то самое движеніе, которымъ обладаетъ она при работѣ сообщенныхъ съ нею приводовъ; тогда работа сопротивленія развиваемаго треніемъ обоймицъ о поверхности вала можетъ быть принята за мѣру той работы, которую въ состояніи произвести машина. Остается только измѣрить эту работу.

Съ этою цѣлію на доску *G* кладутъ столько гирь, чтобы рычагъ *BC* сохранялъ горизонтальное положеніе не прикасаясь ни къ упору *H*, ни къ упору *K*. Тогда рычагъ будетъ удерживаться въ равновѣсіи двумя силами — силою тяжести и силою тренія вала въ точкахъ его прикосновенія съ обоймицами. Для большей простоты вывода оставимъ безъ вниманія вѣсъ всего нажима вмѣстѣ съ доскою *G* и назовемъ чрезъ *P* вѣсъ положенныхъ на доску гирь. Точно также допустимъ, что вмѣсто нѣсколькихъ силъ развиваемыхъ треніемъ нажима существуетъ только одна сила *Q*, дѣйствующая по касательной къ окружности вала. А какъ нажимъ можетъ обращаться только вокругъ вала, то для равновѣсія нажима необходимо, чтобы силы *P* и *Q* были обратно пропорціональны разстояніямъ точекъ приложенія ихъ отъ оси или, что все равно, обратно пропорціональны окружностямъ круговъ, описанныхъ радіусами, равными этимъ разстояніямъ. Слѣдовательно произведеніе силы *Q* обнаруживаемой треніемъ на окружность вала будетъ равно произведенію силы *P* на окружность, описанную радіусомъ равнымъ разстоянію оси вала отъ отвѣсной линіи, проходящей чрезъ точку *C*, въ которой привѣшена доска *G*. Первое произведеніе есть ни что иное какъ работа производимая треніемъ *Q* при полномъ оборотѣ вала; слѣдовательно второе произведеніе, которое легко уже вычислить, можетъ служить мѣрою работы тренія. Стоитъ помножить это второе произведеніе на число оборотовъ вала въ продолженіе какого нибудь опредѣленнаго времени, напр. часа, и тогда получимъ полное количество работы, производимое машиною въ этотъ промежутокъ времени.

Ясно, что тотъ же результатъ получится и въ томъ случаѣ, когда вмѣсто одной силы, обнаруживаемой при треніи нажима, примемъ нѣсколько силъ, приложенныхъ въ различныхъ точкахъ прикосновенія его къ поверхности вала. Что касается до вѣса нажима и доски *G*, то съ помощію динамометра легко опредѣлить силу, которую должно приложить къ точкѣ *C* по направленію обратному къ дѣйствію тяжести для того, чтобы поддержать нажимъ въ томъ случаѣ, когда гайки будутъ ослаблены и на доскѣ *G* не будутъ находиться гири. Понятно, что полученную такимъ образомъ силу должно приложить къ вѣсу гирь, положенныхъ на доску и потомъ уже производить вычисленія, о которыхъ мы уже говорили Такимъ образомъ когда нажимъ будетъ надѣтъ на валъ, когда будутъ завинчены гайки *Z* и *Z* и потомъ на доску *G* положится столько гирь, чтобы машина дѣйствовала такъ какъ при обыкновенныхъ обстоятельствахъ и чтобы при этомъ рычагъ *BC* оставался въ горизонтальномъ положеніи, то полная работа машины производимая въ теченіи часа получится слѣдующимъ образомъ: считаютъ вѣсъ гирь, положенныхъ на доску, къ этому вѣсу придаютъ вѣсъ самаго нажима и доски; потомъ сумму всей этой тяжести умножаютъ на окружность круга, описаннаго радіусомъ

равным горизонтальному разстоянію отъ оси вала до перпендикуляра, проходящаго чрезъ точку, къ которой привѣшена доска; наконецъ это произведеніе помножается на число оборотовъ вала, совершенныхъ въ часъ времени. Вычисляя въ единицахъ вѣса сумму гирь, положенныхъ на доску и тотъ вѣсъ, который придается къ нему, и опредѣляя въ единицахъ длины величину окружности, входящую множителемъ въ первое произведеніе, мы получимъ въ окончательномъ результатѣ часовую работу машины, выраженную въ пудофутахъ.

ПРИТЯЖЕНІЕ НА РАЗСТОЯНІИ.

Тяжесть.

§ 103. Всякое тѣло на землѣ, какъ мы уже говорили, оказываетъ извѣстное давленіе на тѣ препятствія, которыя не позволяютъ ему падать книзу. Устранивъ эти препятствія мы можемъ легко замѣтить, что предоставленное самому себѣ тѣло дѣйствительно упадетъ книзу. Причину обоихъ этихъ явленій — давленія и паденія, называютъ *тяжестію*. Тяжесть.

Если раздѣлить тѣло на двѣ или на три части, то точно также найдемъ, что каждая изъ нихъ будетъ падать къ землѣ и какъ бы далеко не простиралось подобное дѣленіе, даже до самаго предѣла, котораго только можно достигнуть физически, всегда самыя малѣйшія частички будутъ падать книзу, если только мы устранимъ препятствія могущія имѣть вліяніе на ихъ паденіе, такъ напр. если будемъ производить паденіе чрезвычайно малыхъ частичекъ въ пространствѣ, изъ котораго извлеченъ воздухъ.

Это показываетъ намъ, что тяжесть не составляетъ свойства цѣлаго тѣла, какъ массы болѣе или менѣе значительнаго протяженія, но есть качество принадлежащее каждой матеріяльной частицѣ какъ бы мала она не была.

Самое поверхностное наблюденіе приведеннаго нами явленія приводитъ къ предположенію, что тяжесть должна заключаться собственно въ притяженіи между землею и частицами тѣлъ, отдѣленныхъ отъ ней. Но чтобы доставить этому предположенію бо̀льшую достовѣрность, намъ должно доказать посредствомъ опыта, что тѣла находящіяся на извѣстномъ разстояніи между собою могутъ взаимно притягиваться другъ другомъ.

§ 104. Если существуетъ дѣйствительно притяженіе между частицами матеріи, то мы вправѣ ожидать, что всѣ большія массы, какъ напр. горы, должны оказывать замѣтное притяженіе на тѣла окру- Опыты надъ дѣйствіемъ тяжести.

жающія ихъ, что очевидно противорѣчитъ опыту. Противорѣчіе это мы можемъ объяснить себѣ только въ томъ случаѣ, когда примемъ во вниманіе незначительность массы самыхъ высокихъ горъ сравнительно со всею массою земли, на которой онѣ находятся. Понятно, что обыкновенныя горы не могутъ притягивать къ себѣ тѣлъ, которыя въ тоже время притягиваются всею массою земли. Все дѣйствіе горъ въ этомъ случаѣ можетъ заключаться только въ бо́льшемъ или меньшемъ измѣненіи того направленія, которыя тѣла принимаютъ обыкновенно при паденіи своемъ. Если же горы могутъ дѣйствительно производить эти измѣненія, то это въ свою очередь можетъ служить доказательствомъ въ существованіи притяженія между частицами матерій, находящимися на извѣстномъ разстояніи между собою.

Бугеру первому пришло на мысль доказать справедливость этого предположенія посредствомъ притяженія горъ. Мы уже говорили, что нить съ привѣшенною гирею вытягивается постоянно въ направленіи перпендикулярномъ къ поверхности стоячихъ водъ. Если горы обладаютъ способностію притягивать къ себѣ тѣла, то очевидно, что онѣ должны отклонять отвѣсъ отъ перпендикулярнаго направленія.

И въ самомъ дѣлѣ на гирю отвѣса (фиг. 237) должно дѣйствовать двѣ силы: одна — притяженіе земли, а другая — притяженіе горы. Покоряясь обоюдному дѣйствію этихъ двухъ силъ, отвѣсъ очевидно займетъ то направленіе, въ которомъ проходитъ равнодѣйствующая ихъ. Но какимъ образомъ убѣдиться въ существованіи этого отклоненія? Причина, измѣняющая направленіе отвѣса, должна также измѣнить и поверхность спокойныхъ водъ, къ которой мы относимъ направленіе нити и поэтому мы не въ состояніи бы судить надлежащимъ образомъ ни объ одномъ изъ этихъ измѣненій. Это заставило Бугера искать постоянной точки между звѣздами. Онъ производилъ свой опытъ на скатѣ Шимборазо, одной изъ величайшихъ горъ земли, и нашелъ, что нить съ отвѣсомъ отклонилась отъ отвѣснаго положенія на уголъ отъ 7 до 8 секундъ. Чтобы удостовѣриться въ справедливости полученнаго Бугеромъ результата, ученые повѣряли его опыты въ различныхъ мѣстахъ земли. Одинъ изъ самыхъ точныхъ опытовъ былъ произведенъ въ Шотландіи Маскелиномъ, въ 1772 году, у подошвы Шегальенскихъ горъ, гдѣ онъ нашелъ отклоненіе въ 53 секунды. Опыты Маскелина были подтверждены въ 1824 году Карлини, который достигъ почти одинаковыхъ результатовъ на вершинѣ Монъ-Сениса.

Фиг. 237.

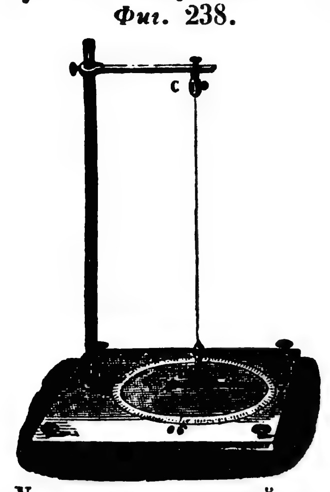
Хотя опыты эти и убѣждаютъ достаточно въ существованіи притяженія между частицами матеріи, но чтобы изслѣдовать законы этого притяженія, необходимо было произвести обнаруженіе его *независимо отъ дѣйствія тяжести*. Для выполненія этой цѣли из-

вѣстный англійскій физикъ Кавендишъ употребилъ приборъ, главнѣйшее основаніе котораго заключается въ слѣдующемъ.

Представимъ себѣ легкій горизонтальный рычагъ изъ дерева, на оконечности котораго находятся небольшіе металлическіе шарики. Если повѣсить этотъ рычагъ на металлической нити, то очевидно, что сцѣпленіе частицъ, поддерживающее рычагъ отъ паденія, будетъ уравновѣшивать дѣйствіе притяженія земли на массу рычага при всѣхъ возможныхъ положеніяхъ его во время вращенія на точкѣ привѣса. Понятно, что для приведенія такого рычага въ движеніе по горизонтальному направленію должна быть употреблена сила, могущая побѣдить только то сопротивленіе, съ которымъ частицы нити противятся скручиванію. Если при этомъ сила дѣйствуетъ на одинъ конецъ рычага, длина котораго значительно превосходитъ радіусъ нити, на концѣ которой дѣйствуетъ сопротивленіе, то, основываясь на законахъ рычага, мы можемъ вывести заключеніе, что сила, въ этомъ случаѣ, находится въ выгоднѣйшемъ отношеніи къ сопротивленію.

Чтобы доставить по возможности выгодное отношеніе силѣ, пользуются слѣдующимъ свойствомъ упругости, обнаруживающейся при скручиваніи нитей. Если утвердить тонкую металлическую нить цилиндрической формы (фиг. 238) на одномъ изъ ея основаній и потомъ сообщить вращательное движеніе частицамъ, составляющимъ другое основаніе нити, имѣющей по всей длинѣ одинаковый діаметръ, то очевидно, что всѣ частицы ея выйдутъ изъ своего состоянія равновѣсія и будутъ вращать ее по винтообразной линіи вокругъ оси, частицы которой однѣ останутся неподвижными. Вслѣдствіе свойства упругости, частицы снова придутъ въ первоначальное положеніе, если только вращеніе не перейдетъ извѣстнаго предѣла. Уголъ описываемый въ этомъ случаѣ частицами, расположенными на радіусахъ основанія, къ которому была приложена сила, называется *угломъ скручиванія*. Опытъ показываетъ, что углы скручиванія прямо пропорціональны длинамъ нитей и обратно пропорціональны четвертой степени ихъ діаметровъ, въ томъ случаѣ, когда одна и таже сила прилагается къ нитямъ одинаковаго вещества, но различныхъ длинъ и діаметровъ. Слѣдовательно съ помощію небольшихъ силъ можно получать значительные углы вращенія, если только заставлять силы дѣйствовать на весьма длинныя и весьма тонкія нити. Положимъ теперь, что возлѣ небольшаго шарика рычага находится большой свинцовый шаръ. Понятно, что большій шаръ въ этомъ положеніи можетъ оказывать притяженіе на меньшій шаръ только по горизонтальному направленію. И въ самомъ дѣлѣ мы уви-

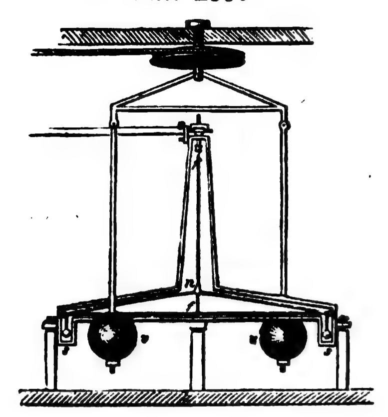
Фиг. 238.



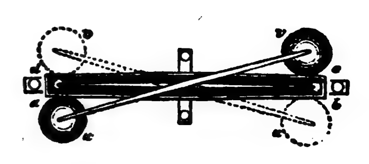
димъ, что меньшій шаръ будетъ стремиться приближаться къ большему и начнетъ скручивать нить, на которой повѣшенъ рычагъ; вслѣдствіе чего послѣдній оставитъ первоначальное положеніе и сдѣлавши нѣсколько колебаній вокругъ новаго своего положенія, приметъ его наконецъ окончательно. Сила скручиванія, приведшая нить въ это новое положеніе, очевидно будетъ равна притягательной силѣ шаровъ. Понятно, что мы получимъ удвоенное дѣйствіе, если вмѣсто одного большаго свинцоваго шара употребимъ два, чего мы можемъ легко достигнуть, помѣстивъ по одному шару на каждомъ концѣ рычага съ двухъ противоположныхъ сторонъ. Чтобы устранить отъ этого прибора вліяніе движеній воздуха, могущихъ производить измѣненіе въ его положеніи, а слѣдовательно и изкажать полученные результаты, Кавендишъ помѣстилъ приборъ въ большой стеклянный ящикъ. Для предохраненія же его отъ потрясеній и отъ нагрѣванія воздуха, могущаго произойти во время приближенія къ рычагу, англійскій физикъ придалъ этому прибору такое устройство, чтобы можно было наблюдать взаимное дѣйствіе шариковъ посредствомъ зрительной трубы изъ другой комнаты. Съ этою же цѣлію онъ устроилъ механизмъ, который позволялъ изъ другой комнаты приводить въ движеніе оба большія шара.

Приборъ Кавендиша представленъ на фиг. 239 и 240, изъ кото-

Фиг. 239.



Фиг. 240.



рыхъ первая изображаетъ его сбоку, а вторая сверху. На послѣдней фигурѣ видѣнъ ящикъ *abcd*, въ которомъ повѣшенъ рычагъ съ двумя нёбольшими шариками *ss*. Фигура же 239 показываетъ, что рычагъ этотъ виситъ на нити *ff* и что небольшіе шарики *ss* висятъ также на тонкихъ нитяхъ, которыя пройдя сквозь концы рычага соединяются противу середины его съ вертикальною нитію *ff*. Оба большіе шара *u* и *v* повѣшены на желѣзныхъ прутьяхъ, которые посредствомъ блока и шнура могутъ быть обращаемы вокругъ вертикальной нити *ff* какъ вокругъ оси. Безконечный шнуръ обхватываетъ блокъ въ другой комнатѣ, въ которой помѣщается наблюдатель.

§ 105. Такимъ образомъ дѣйствіе тяжести или стремленіе тѣлъ приближаться къ землѣ, мы можемъ объяснить себѣ доказаннымъ выше предположеніемъ, что всѣ матеріальныя частицы земли оказываютъ притяженіе на частицы каждаго отдѣленнаго отъ ней тѣла. Понятно, что законы этого притяженія должны зависѣть отъ группировки частицъ составляющихъ массу земли или, говоря другими словами, отъ самой формы земли. Наружный видъ земли.

Земля наша есть отдѣльное тѣло свободно движущееся въ пространствѣ. По причинѣ огромности протяженія занимаемаго ею, мы можемъ убѣдиться въ справедливости этой истины только съ помощію фактовъ, выведенныхъ нами изъ многочисленныхъ наблюденій, изъ которыхъ мы укажемъ только на нѣкоторыя; такъ напр. множество мореплаваній, совершенныхъ по всѣмъ направленіямъ земли, доказываетъ намъ самымъ положительнымъ образомъ, что нигдѣ небесный сводъ не опирается на земную поверхность, какъ это кажется съ перваго взгляда. Точно также, обращая вниманіе на небо въ звѣздную ночь, мы можемъ легко замѣтить, что весь небесный сводъ кажется намъ обращающимся вокругъ умственной линіи, называемой осью свѣта и проходящей чрезъ двѣ точки неба, именуемыя полюсами, изъ которыхъ одинъ, видимый въ нашихъ странахъ, занятъ полярной звѣздою. Полюсъ этотъ кажется постоянно неподвижнымъ, между тѣмъ какъ остальныя звѣзды описываютъ вокругъ оси свѣта круговые пути, величина которыхъ постоянно увеличивается по мѣрѣ удаленія звѣздъ отъ полюса. Звѣзды, ближайшія къ полярной звѣздѣ, бываютъ постоянно видимы нами во все время кажущагося ихъ движенія, потому что онѣ описываютъ круги, заключающіеся въ видимой нами части неба. Но другія, болѣе удаленныя отъ полюса звѣзды, скрываются за предѣлы того пространства, которое представляется видимымъ глазу наблюдателя и которое обыкновенно называется *видимымъ горизонтомъ*. Спустя извѣстное время мы можемъ замѣтить, что звѣзды, скрывшіяся на западной сторонѣ горизонта, начинаютъ снова показываться съ восточной стороны его, для того, чтобы снова продолжать обычное круговое, замѣченное нами, движеніе ихъ. Ясно, что эти самыя звѣзды, во время скрытія своего, продолжаютъ круговые пути въ невидимой нами части неба, что очевидно возможно только въ томъ только случаѣ, когда земля есть тѣло, движущееся отдѣльно въ пространствѣ, подобно лунѣ и другимъ небеснымъ тѣламъ.

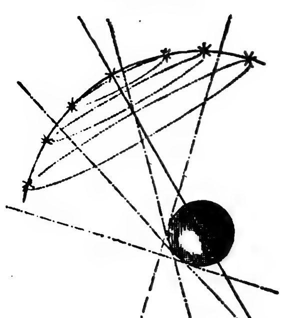
Что же касается до формы земли, то многочисленныя наблюденія удостовѣряютъ насъ въ шарообразности ея вида. Въ этомъ мы можемъ убѣдиться изъ шарообразнаго вида морей, омывающихъ, какъ извѣстно, большую часть ея поверхности. Наблюдая за удаляющимся отъ берега кораблемъ, мы найдемъ, что прежде всего будутъ изчезать отъ нашего взгляда нижнія части его, потомъ среднія и наконецъ верхнія, чего конечно мы бы не были вправѣ ожидать, если бы земля имѣла плоскую поверхность. Явленіе это убѣждаетъ насъ въ круглости земли тѣмъ болѣе, что оно совершается однообразно на

всѣхъ мѣстахъ ея поверхности и по всѣмъ направленіямъ. Но шарообразность вида земли наиболѣе явствуетъ изъ кругосвѣтныхъ мореплаваній и преимущественно изъ затмѣній луны.

Въ 1519 году одинъ изъ кораблей, отправившихся изъ Севиллы подъ предводительствомъ Магелана, возвратился 8 Сентября къ тому же порту послѣ продолжительнаго плаванія, во время котораго онъ постоянно направлялся къ западу. Фактъ этотъ, повторенный впослѣдствіи значительнымъ числомъ другихъ мореплаваній, показываетъ, что земля имѣетъ шарообразный видъ отъ востока къ западу. Расположеніе материковъ и суровость климата, постоянно господствующая у полюсовъ, не позволили до настоящаго времени сдѣлать подобнаго путешествія вокругъ земли по направленію съ сѣвера на югъ и доказать непосредственно путешествіями круглоту земли по всѣмъ направленіямъ. Но явленія, представляемыя небеснымъ сводомъ, во время приближенія къ сѣверу и къ югу, достаточно убѣждаютъ насъ, что земля имѣетъ шарообразную форму и по этому направленію.

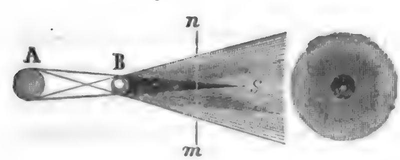
Приближаясь отъ какого нибудь мѣста экватора къ сѣверу, мы можемъ замѣтить, что пути звѣздъ, расположенныхъ въ этой части неба, поднимаются постепенно надъ горизонтомъ (фиг. 241), между тѣмъ какъ звѣзды, пути которыхъ направляются къ югу, постепенно опускаются и изчезаютъ. Подобныя явленія представляютъ намъ звѣзды во время постояннаго приближенія нашего отъ экватора къ югу. Слѣдовательно во время путешествія нашего къ сѣверу и къ югу, мы можемъ замѣтить постоянное склоненіе горизонта, а это очевидно можетъ произойти только въ томъ случаѣ, когда земля по направленію полюсовъ имѣетъ шарообразную форму.

Фиг. 241.



Но изъ всѣхъ небесныхъ явленій явственнѣе прочихъ убѣждаютъ насъ въ шарообразности земли лунныя затмѣнія. И въ самомъ дѣлѣ земля, какъ всякое темное тѣло, во время постояннаго освѣщенія ея солнцемъ должна отбрасывать позади себя темпую тѣнь, форма которой очевидно должна зависѣть отъ самой формы земли. Если земля имѣетъ сферическій видъ, то пространство находящееся въ тѣни (фиг. 242), должно представлять собою конусъ съ круговымъ основаніемъ. Поэтому когда луна, принадлежащая также къ темнымъ тѣламъ, попадаетъ въ это пространство, то мы должны видѣть на ней свѣтлую круговую кайму: что дѣйствительно было неоднократно замѣчаемо при всѣхъ положеніяхъ земли.

Фиг. 242.



Однако земля, не взирая на шарообразную форму, не принадлежитъ къ совершенно сферическимъ тѣламъ: точныя измѣренія показали,

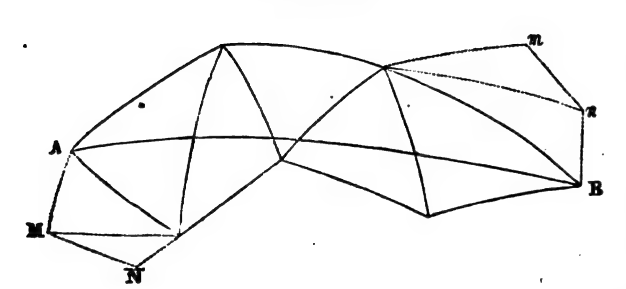
что она съужена у полюсовъ, т. е. у точекъ, чрезъ которыя проходитъ ось кажущагося вращенія міра, или линія, вокругъ которой совершается дѣйствительно суточное вращеніе земли, служащее, какъ извѣстно, причиной кажущагося вращенія небеснаго свода.

Самое ближайшее разстояніе между двумя какими либо точками на земной поверхности, есть очевидно дуга большаго круга соединяющаго ихъ. Извѣстно, что каждая дуга измѣряется градусами, служащими также мѣрою для угла, образуемаго пересѣченіемъ двухъ линій, проведенныхъ въ отвѣсномъ направленіи къ оконечности дуги. Поэтому *дугою градуса* называютъ такую дугу большаго круга, которая по пересѣченіи отвѣсныхъ линій, проведенныхъ къ оконечностямъ ея, даетъ уголъ равный градусу; если бы земля была совершенно сферическое тѣло, то измѣреніе ея величины приводилось бы къ измѣренію дуги градуса; зная эту величину намъ стоило бы только помножить ее на 360 для полученія длины большаго круга, откуда уже легко вычислить радіусъ послѣдняго.

Уголъ, образуемый отвѣсными линіями, проведенными къ двумъ оконечностямъ дуги, получается легко въ томъ случаѣ, когда дуги принадлежатъ меридіану, или большому кругу, проходящему чрезъ полюсы, потому что этотъ уголъ есть ничто иное, какъ разница между широтами двухъ крайнихъ точекъ дуги. Слѣдовательно при измѣреніи должно опредѣлять величину дуги градуса меридіана. Подобное измѣреніе было въ дѣйствительности произведено въ Пенсильваніи, въ Соединенныхъ Штатахъ, въ 1768 году; въ плоской странѣ вблизи отъ моря провели дугу меридіана и измѣрили длину ея посредствомъ линеекъ, прикладываемыхъ послѣдовательно другъ къ другу.

Но какъ прямое измѣреніе весьма затруднительно по причинѣ неровностей, встрѣчаемыхъ на земной поверхности, то прибѣгаютъ къ помощи тріангуляціи. — Положимъ, что *AB* (фиг. 243) есть дуга меридіана, которую желаютъ измѣрить; для этого образуется сѣть треугольниковъ, вершины которыхъ составляютъ какіе нибудь возвышенные пункты, какъ напримѣръ башни и пр.


Фиг. 243.



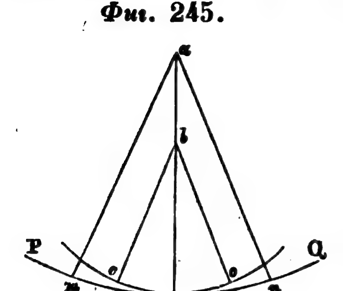
Непосредственно измѣряютъ только одну базу или основаніе *MN*, которое связываютъ съ сѣтью. Послѣ того измѣряютъ особеннымъ оптическимъ снарядомъ, о которомъ мы будемъ говорить впослѣдствіи, всѣ углы образуемые этими треугольниками Зная величину угловъ и величину основанія можно при помощи математическихъ вычисленій найти длину сторонъ этихъ треугольниковъ и частей дуги меридіана, заключающихся въ каждомъ изъ треугольниковъ. Взявши сумму всѣхъ частей получаютъ цѣлую дугу *AB*. Подобныя

измѣренія были выполнены для дугъ различныхъ широтъ. Результаты этихъ измѣреній показали, что дуга одного и того же градуса неодинакова для всѣхъ мѣстъ земли и что она увеличивается по мѣрѣ приближенія отъ экватора къ полюсамъ.

Эта неравность между дугами одного градуса показываетъ, что земля не имѣетъ совершенно сферической формы, а какъ эти дуги болѣе у полюса, чѣмъ у экватора, то и заключаютъ, что земля сжата у полюсовъ и выпукла подъ экваторомъ. И въ самомъ дѣлѣ, если земля не есть совершенный шаръ, то отвѣсныя линіи проведенныя къ каждой точкѣ ея не могутъ пересѣкаться между собою въ центрѣ земли. Положимъ, что *EA* и *PB* (фиг. 244), двѣ дуги одного градуса, одна близь экватора, а другая близь полюса, и что *C* есть точка пересѣченія отвѣсныхъ, проведенныхъ къ оконечностямъ первой, а *D* точка пересѣченія отвѣсныхъ, проведенныхъ къ оконечностямъ второй дуги. Если изъ точки *C* какъ изъ центра, радіусомъ *CA* провести дугу круга, то дуга эта будетъ совпадать приблизительно съ дугою меридіана *EA*, точно также какъ и дуга, описаннаго изъ точки *D* радіусомъ *DP* даетъ дугу, приблизительно совпадающую со второю дугою меридіана *BP*. Поэтому двѣ дуги *EA* и *PB* могутъ быть разсматриваемы какъ двѣ дуги одного градуса въ двухъ кругахъ, описанныхъ изъ точекъ *C* и *D*. Но мы знаемъ, что въ кругѣ дуга градуса или 360-я часть окружности бываетъ тѣмъ болѣе, чѣмъ значительнѣе радіусъ круга. Если же дуга *PB* болѣе *EA*, то и радіусъ *DP* долженъ быть болѣе *CE*. Съ другой стороны кривизна дуги (фиг. 245) уменьшается по мѣрѣ увеличенія радіуса круга; чѣмъ болѣе радіусъ, тѣмъ менѣе бываетъ чувствительна выпуклость; слѣдовательно выпуклость менѣе у полюсовъ, нежели у экватора, или, говоря другими словами, земля сжата у полюсовъ и выпукла подъ экваторомъ, т. е. она имѣетъ овальную форму на подобіе фиг. 244.

Фиг. 244.

Фиг. 245.



Представимъ себѣ, что эллипсъ или овальная кривая *PEP* (фиг. 244), обращается вокругъ меньшей оси *PP*; при обращеніи она опишетъ тѣло называемое *эллипсоидомъ*, къ которому мы относимъ нашу землю. Для опредѣленія величины этого тѣла должно знать величину двухъ его діаметровъ: діаметръ полюсовъ *PP* и діаметръ экватора *EE*. Обѣ эти линіи могутъ быть опредѣлены посредствомъ двухъ дугъ, изъ которыхъ одна взята у полюса, а другая у экватора.

Изъ полученныхъ на этомъ основанiи результатовъ касательно длины обоихъ дiаметровъ нашли, что сжатiе или отношенiе разности двухъ дiаметровъ къ дiаметру экватора, приблизительно равно $^1/_{300}$ части радiуса.

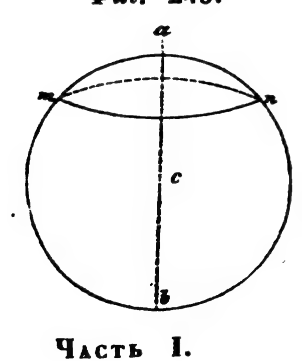
Такъ напр. изъ вычисленiй найдено, что радiусъ экватора = 859,4367 географ. миль, а половина земной оси = 856,5637 геогр. миль, изъ которыхъ каждая, какъ извѣстно, равна 7 русскимъ верстамъ; слѣдовательно разница равна 2,8 географ. милямъ. Величина эта весьма незначительна сравнительно съ приведенными нами числами, и потому сжатiе земли не можетъ имѣть замѣтнаго влiянiя на шарообразность ея формы, точно также какъ и въ томъ случаѣ, когда бы имѣли футоваго радiуса шаръ, котораго ось была бы полъ линiей короче дiаметра экватора. Мы не считаемъ необходимымъ говорить здѣсь о неровностяхъ, представляемыхъ на поверхности земли горами, потому что самыя высочайшiя изъ нихъ, по незначительности своей величины, сравнительно съ величиною всего земнаго шара, не могутъ имѣть влiянiя на измѣненiе шарообразнаго вида земли, подобно тому, какъ неровности на апельсинѣ не могутъ измѣнять общей фигуры его.

§ 106. Изъ объясненнаго нами выше слѣдуетъ, что причина тяжести тѣлъ или стремленiя ихъ къ паденiю, заключается въ притяженiи каждой частицы тѣла всѣми матерiальными частицами земнаго шара. Величина и направленiе равнодѣйствующей этихъ притяженiй, очевидно дастъ величину и направленiе силы, съ которою притягиваемое землею тѣло двигается или падаетъ на нее. Образъ дѣйствiя тяжести.

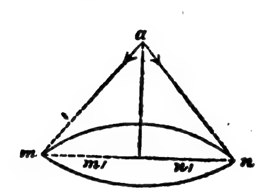
Для этого опредѣленiя мы должны прежде разсмотрѣть самый простѣйшiй случай опредѣленiя равнодѣйствующей притяженiй всѣхъ частицъ земнаго шара на одну матерiальную точку. Рѣшенiе этого вопроса будетъ значительно облегчено, если принять землю за правильный шаръ. Такъ какъ уклоненiе земли отъ шаровой формы весьма незначительно, то поэтому полученные нами результаты не могутъ значительно разниться отъ истинныхъ, что дѣйствительно и можно вывести изъ математическихъ вычисленiй, при которыхъ обращается вниманiе на сплюснутость земли.

Если притягиваемую точку a (фиг. 246) соединимъ прямою acb съ центромъ земли c и раздѣлимъ мысленно весь земной шаръ на безконечное множество круговъ, безконечно близко лежащихъ другъ къ другу и перпендикулярныхъ подобно mn къ линiи ab, тогда можно разсматривать притяженiе, оказываемое массою земли на точку, какъ результатъ притяженiя всѣхъ этихъ круговъ. Притягиваемая точка a лежитъ въ вертикальномъ направленiи прямо противу центра каждаго изъ этихъ круговъ. Начнемъ съ опредѣленiя притяженiя одного изъ нихъ. Легко

Фиг. 246.



Фиг. 247.



видѣть, что равнодѣйствующая притяженія всѣхъ его точекъ должна проходить чрезъ центръ круга. И въ самомъ дѣлѣ, возмемъ точки m и n (фиг. 247), равно отстоящія отъ центра этого круга; нѣтъ никакой причины допустить, чтобы онѣ могли оказывать различное притяженіе на точку a. Если же они дѣйствуютъ одинаково, то равнодѣйствующая ихъ совокупнаго притяженія, должна раздѣлить пополамъ уголъ man, т. е. должна пройти чрезъ центръ круга. Ясно, что тоже самое можно сказать о точкахъ m', n' и др. Такъ какъ каждый изъ круговъ, на которые мы раздѣлили умственно землю, притягиваетъ точку a къ своему центру и слѣдовательно сообщаетъ ей движеніе по направленію ac (фиг. 246), то вслѣдствіе дѣйствія всѣхъ земныхъ круговъ, точка a должна будетъ двигаться по направленію ac, т. е. къ центру земли. Что здѣсь сказано къ одному положенію точки a, то очевидно относится и ко всякому другому положенію ея. Поэтому гдѣ бы мы не взяли надъ поверхностію земли точку, вездѣ отъ совокупнаго дѣйствія частицъ земнаго шара, она будетъ стремиться производить движеніе по направленію къ центру его, и если нѣтъ никакого препятствія, то точка будетъ дѣйствительно двигаться въ этомъ направленіи, которое есть истинное направленіе паденія тѣлъ.

Изъ выведеннаго нами слѣдуетъ, что *совокупное дѣйствіе всей массы земнаго шара на каждую матеріяльную точку, находящуюся внѣ шара, мы можемъ представить себѣ соединеннымъ въ центрѣ его точно также, какъ бы вся масса его была сосредоточена въ центрѣ.*

Поэтому, если два шара оказываютъ взаимное притяженіе другъ на друга, то мы должны принять, что совокупная масса каждаго изъ нихъ сосредоточена въ центрѣ его.

Зависимость притяженія отъ массы и разстоянія.

§ 107. Какъ притяженіе есть общее свойство матеріи, очевидно, что каждая матеріяльная точка должна обладать одинаковой притягательной силой съ прочими точками. Слѣдовательно притягательная сила каждаго матеріяльнаго тѣла находится *въ прямой зависимости отъ его массы.* Поэтому, если два тѣла различной массы оказываютъ взаимное притяженіе между собою, то они приближаются другъ къ другу со скоростями обратно пропорціональными ихъ массамъ, т. е. во сколько разъ масса одного тѣла менѣе массы другаго, во столько разъ и приближеніе его совершается скорѣе относительно приближенія перваго тѣла.

Сравнивая огромность массы земнаго шара съ массою всѣхъ находящихся на ея поверхности тѣлъ, мы можемъ безъ чувствительной погрѣшности, притяженіе оказываемое ими на массу земнаго шара, принять за безконечно малое. Вотъ на какомъ основаніи обыкновенно говорятъ, что всѣ тѣла, находящіяся на поверхности земли, притягиваются ею; при чемъ, для яснаго представленія тя-

жести, никогда не должно упускать изъ виду истиннаго значенія этого выраженія.

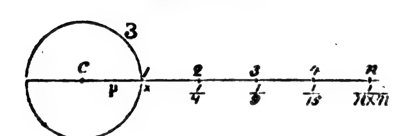
Выведенная нами зависимость притяженія отъ массы, весьма важна въ томъ отношеніи, что зная притягательную силу какого нибудь тѣла, мы можемъ вычислить его массу и наоборотъ.

Но при этомъ должно имѣть въ виду и разстояніе, на которомъ совершается дѣйствіе притяженія. Говоря объ общемъ дѣйствіи всѣхъ силъ природы, мы уже имѣли случай замѣтить, что *дѣйствіе ихъ обратно пропорціонально квадратамъ разстояній между тѣлами, на которыя дѣйствуютъ силы и источники ихъ дѣйствія.*

Мы уже знаемъ, что источникъ дѣйствія притягательной силы всякаго шара находится въ центрѣ его, гдѣ мы можемъ представить себѣ сосредоточенною всю массу шара. Представимъ себѣ мысленно, въ различныхъ разстояніяхъ вокругъ этого центра, нѣсколько концентрическихъ шаровыхъ поверхностей: ясно, что на каждую изъ нихъ будетъ дѣйствовать *совокупная* сила притяженія. Такъ какъ шаровыя поверхности эти имѣютъ различную величину на различныхъ разстояніяхъ, то очевидно, что одна и таже сила должна распространяться и раздѣляться на различной величины поверхности и естественно должна дѣйствовать на каждый отдѣльный пунктъ тѣмъ слабѣе, чѣмъ болѣе этихъ пунктовъ заключается въ поверхности. Изъ геометріи же намъ извѣстно, что различныя шаровыя поверхности относятся между собою какъ квадраты ихъ радіусовъ, слѣдовательно и дѣйствіе силы на каждую поверхность находится въ томъ же самомъ отношеніи. Одинаковой величины силы распредѣляются при *удвоенномъ*, *утроенномъ*, *учетверенномъ* разстояніяхъ на *учетверенную*, *ушестеренную* и въ *шестнадцать* разъ большую поверхности, или, говоря другими словами, одна и таже сила дѣйствуетъ на каждый отдѣльный пунктъ этихъ поверхностей только съ $^1/_4$ и $^1/_9$ или $^1/_{16}$ своего напряженія.

На этомъ основаніи (фиг. 248), если мы примемъ за единицу разстояніе земной поверхности отъ центра ея, гдѣ предполагается средоточіе ея массы или средоточіе притяженія, то на удвоенномъ разстояніи всякое тѣло будетъ притягиваться вчетверо слабѣе, нежели въ томъ случаѣ, когда бы оно находилось у самой поверхности земли; на утроенномъ разстояніи оно будетъ въ 9 разъ слабѣе, на учетверенномъ въ 16 разъ и т. д. Однимъ словомъ уменьшеніе притяженія выражается квадратомъ разстоянія притягиваемаго тѣла отъ центра земли. Такъ какъ луна отстоитъ отъ земли почти въ 60 разъ далѣе разстоянія центра земли отъ ея поверхности, то и тяжесть земли дѣйствуетъ на луну въ 60 × 60 или 3600 разъ слабѣе противу того, когда бы луна находилась у самой поверхности земли.

Фиг. 248.



Справедливость обоихъ этихъ законовъ — зависимости притяженія отъ массы и разстоянія, — выведенныхъ англійскимъ математикомъ и естествоиспытателемъ Ньютономъ, можетъ быть подтверждена на опытѣ посредствомъ описаннаго нами прибора Кавендиша. Говоря объ этомъ приборѣ мы показали, что притягательная сила шаровъ равна силѣ, которая скручиваетъ нить и приводитъ рычагъ въ окончательное положеніе равновѣсія. Если измѣнять разстоянія между шарами, то, согласно тому, будетъ измѣняться уголъ скручиванія нити: и въ самомъ дѣлѣ онъ сдѣлается въ 4 раза бо̀льшимъ, когда разстояніе уменьшится въ 2 раза, въ 9 разъ бо̀льшимъ для разстоянія въ 3 раза меньшаго. Одимъ словомъ, онъ будетъ измѣняться обратно пропорціонально квадратамъ разстояній. Но какъ притягательная сила шаровъ равна силѣ скручиванія, въ различныхъ состояніяхъ равновѣсія рычага и какъ сила скручиванія всегда измѣряется угломъ скручиванія, то очевидно, что и притягательная сила должна быть также обратно пропорціональна квадратамъ разстояній. точно также можно доказать посредствомъ этого прибора, что притягательная сила пропорціональна массамъ тѣлъ.

Вслѣдствіе зависимости притяженія отъ разстоянія очевидно, что скорость, съ которою всякое тѣло, притягиваемое землею, приближается къ центру ея, должна быть различна для точекъ различно удаленныхъ надъ земною поверхностію. Поэтому, при совершенно точныхъ изслѣдованіяхъ и измѣреніяхъ, мы должны въ строгомъ смыслѣ смотрѣть на скорость паденія тѣлъ какъ на величину, зависящую отъ возвышенія падающаго тѣла надъ поверхностію земли. Но, если мы производимъ паденіе тѣлъ съ высотъ, возвышеніе которыхъ надъ земною поверхностію *весьма незначительно*, сравнительно съ длиною земнаго радіуса, то очевидно, что самыя различія въ скоростяхъ паденія, мы можемъ оставлять безъ вниманія при всѣхъ подобныхъ наблюденіяхъ.

Изъ этого слѣдуетъ, что при обыкновенныхъ опытахъ, производимыхъ нами на землѣ надъ паденіемъ тѣлъ, мы можемъ принимать притяженіе земли за силу постоянную.

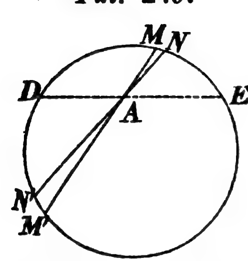
И въ самомъ дѣлѣ допустимъ, что g есть напряженіе притяженія какой либо точки поверхности земнаго шара, радіусъ котораго равенъ r и что g' есть напряженіе притяженія для какой нибудь точки, возвышающейся надъ поверхностію земли на n метровъ, т. е. для точки удаленной отъ центра на $n+r$ метровъ. На основаніи предыдущаго, мы будемъ имѣть $g':g=r^2:(r+n)^2$. Если положимъ, что радіусъ земнаго шара равенъ 6376464 метрамъ и если возмемъ 20 или 30 метровъ для высоты какой нибудь точки, то ясно, что оба послѣдніе члена пропорціи будутъ весьма мало различаться между собою. Тоже самое отношеніе должно существовать и между первыми членами, которые можно принять безъ чувствительной погрѣшности почти равными между собою. Справедливость этого Галилей подтвердилъ опытами.

Изъ приведеннаго нами доказательства очевидно, что разница между притяженіемъ двухъ точекъ будетъ тѣмъ существеннѣе, чѣмъ значительнѣе разстояніе между ними.

Но чтобы получить болѣе полное понятіе о дѣйствіи притягательной силы земли, намъ должно разсмотрѣть, по какимъ законамъ шарообразное тѣло притягиваетъ точку находящуюся не внѣ, но *внутри* его.

Положимъ сперва, что точка A (фиг. 249) находится внутри пустаго шара,

Фиг. 249.

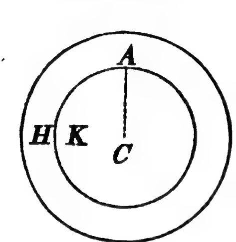


поверхность котораго составлена изъ массы, имѣющей равную плотность. Проведя чрезъ точку A плоскость DE, мы раздѣлимъ поверхность шара на двѣ части, изъ которыхъ одна будетъ лежать по одну, а другая по другую сторону этой плоскости. Очевидно, что точка A будетъ притягиваться этими частями по двумъ противоположнымъ направленіямъ. Раздѣлимъ одну изъ этихъ частей на множество безконечно малыхъ частицъ и положимъ, что прямая линія, проходящая чрезъ A, движется по всемъ протяженіи поверхности каждой изъ этихъ частицъ. Понятно, что таже самая линія должна описать на противоположной поверхности шара *столько же* безконечно малыхъ частицъ поверхности, противоположныхъ первымъ. Взявши, двѣ другъ другу противоположныя частицы поверхностей, какъ напр. MN и $M'N'$, мы можемъ принять ихъ за основанія двухъ конусовъ MAN и $M'AN'$, которые подобны между собою, потому что они опираются съ двухъ противоположныхъ сторонъ на вершину A и что основанія ихъ имѣютъ одинаковое наклоненіе относительно хордъ круга, составляющихъ бока конусовъ AM, AM' или AN и AN' и т. д. Изъ геометріи же извѣстно, что основанія такихъ конусовъ MN и $M'N'$ относятся между собою, какъ квадраты соотвѣтственныхъ сторонъ AM и AM', т. е. $MN : M'N' = AM^2 : AM'^2$ или $MN : AM^2 = M'N' : AM'^2$. Но эти *равныя* другъ другу отношенія, на основаніи Ньютоновыхъ законовъ притяженія, пропорціональны дѣйствіямъ, оказываемымъ частицами поверхностей MN и $M'N'$ на точку A. Слѣдовательно и дѣйствія эти должны быть другъ другу равны, а такъ какъ они совершаются по противоположнымъ направленіямъ, то очевидно, что они должны взаимно уничтожаться другъ другомъ.

Какъ подобнымъ же образомъ дѣйствія частицъ шаровой поверхности на точку A, уничтожаются равными и противоположными дѣйствіями соотвѣтственныхъ имъ частицъ противоположной стороны, то очевидно, что *дѣйствіе цѣлой шаровой поверхности на точку A будетъ равно нулю.*

Положимъ теперь, что точка A (фиг. 250) находится внутри *сплошнаго* шара,

Фиг. 250.



центръ котораго находится въ точкѣ C. Описавъ шаровую поверхность радіусомъ CA, мы раздѣлимъ сплошной шаръ на двѣ части, изъ которыхъ одна будетъ пустой шаръ H, а другая сплошной шаръ K. Относительно перваго мы можемъ разсматривать точку A, какъ точку, находящуюся внутри пустаго шара, дѣйствія котораго на точку A, какъ мы уже сказали, будетъ равно нулю. Слѣдовательно сила притяженія цѣлаго шара на точку A, будетъ обусловлена только притяженіемъ, оказываемымъ на нее меньшимъ шаромъ K. Какъ A относительно K есть пунктъ, лежащій на поверхности этого шара, то очевидно, что притяженіе его мы можемъ отнести къ тому случаю, когда бы вся масса K была сосредоточена въ точкѣ C, т. е. притяженіе это будетъ пропорціонально массѣ шара K и обратно пропорціонально квадрату разстоянія CA. Но изъ геометріи извѣстно, что масса K прямо пропорціональна кубу CA Слѣдовательно притягательная сила этого шара прямо пропорціональна разстоянію CA. Какъ это притяженіе уменьшается пропорціонально уменьшенію разстоянія между точкою A и центромъ C, то очевидно, что въ самомъ центрѣ оно равно нулю.

Изъ всего сказаннаго нами слѣдуетъ, что притяженіе между двумя матеріяльными точками мы можемъ принять только за *взаимное* и *противоположное дѣйствіе* этихъ двухъ точекъ другъ на друга. Поэтому, если двѣ частицы двухъ сплошныхъ или пустыхъ шарообразныхъ тѣлъ взаимно притягиваются

между собою съ силою прямо пропорціональною ихъ массѣ и обратно пропорціональною квадрату ихъ разстояній, то на основаніи предыдущаго, мы можемъ замѣнить дѣйствіе одного изъ этихъ шаровъ, на произвольную частицу другаго равнодѣйствующей силой, которая дѣйствуетъ на взятую нами частицу пропорціонально массѣ перваго шара, сосредоточенной въ его центрѣ и обратно пропорціонально квадрату разстоянія между этимъ центромъ и избранной точкой. Точно также мы получимъ равнодѣйствующую и для центра втораго шара. Слѣдовательно, если два шара оказываютъ взаимное притяженіе между собою, то мы можемъ принять, что они дѣйствуютъ другъ на друга точно такъ, какъ бы массы ихъ были сосредоточены въ соотвѣтственныхъ центрахъ.

Мы доказали, что всѣ матеріяльныя частицы одарены способностію взаимно притягивать другъ друга. Поэтому мы должны смотрѣть на тяжесть земли или на способность притягивать къ себѣ отдѣленныя отъ нея тѣла, какъ на частный случай притяженія.

Дѣйствіе тяжести.

Давленіе и паденіе тѣлъ. § 108. Всякая матеріяльная частица, находящаяся внѣ земли, вслѣдствіе тяжести или притяженія земли стремится къ центру ея. Если противопоставить преграду тѣлу стремящемуся къ центру земли, то найдемъ, что оно оказываетъ давленіе на эту преграду. Поэтому дѣйствіе тяжести обнаруживается двумя явленіями: *давленіемъ* и *паденіемъ тѣлъ*.

Желая означить направленіе падающаго тѣла, мы обыкновенно говоримъ, что тѣло падаетъ *книзу*. Смыслъ послѣдняго слова легко объяснить себѣ на основаніи явленій изложенныхъ нами выше. И въ самомъ дѣлѣ, одна точка лежитъ ниже другой, если она расположена ближе къ центру земли, а самый центръ земли есть самая низшая точка для каждаго мѣста земной поверхности. Поэтому наши антиподы выражаются въ томъ же самомъ смыслѣ какъ и мы, употребляя слова *верхъ* и *низъ*, хотя направленія паденія у нихъ прямо противоположно нашему.

Сдѣланное нами заключеніе можетъ показаться слишкомъ скорымъ, потому что говоримъ здѣсь уже о паденіи тѣлъ, тогда какъ мы опредѣлили только направленіе, принимаемое одною матеріяльной точкой вслѣдствіе притяженія земли.

Поэтому мы должны прежде всего показать, какимъ образомъ притягиваются землею тѣла или, говоря другими словами, большее

или меньшее число матеріяльныхъ точекъ. Какъ земля притягиваетъ каждую матеріяльную точку къ своему центру, то ясно, что на каждое тѣло на земной поверхности дѣйствуетъ столько отдѣльныхъ притяженій, сколько заключается въ этомъ тѣлѣ матеріяльныхъ частицъ. Какъ каждое изъ этихъ притяженій совершается по направленію къ центру земли, то очевидно, что направленія эти въ строгомъ смыслѣ не могутъ быть параллельны между собою, а должны образовать углы, общая вершина которыхъ должна находиться въ центрѣ земли. Но если мы припомнимъ какъ малы размѣры тѣла, имѣющаго даже 10 или 20 футовъ длины, сравнительно съ удаленіемъ его отъ центра земли, то поймемъ какъ незначительна будетъ ошибка, въ томъ случаѣ, если мы допустимъ, что направленія притяженій земли на всѣ точки притягиваемаго ею тѣла, параллельны между собою. Поэтому дѣйствія земли на всякое тѣло, находящееся на ея поверхности, будетъ опредѣлено, если мы опредѣлимъ *направленіе*, *точку приложенія* и *величину равнодѣйствующей*.

§ 109. *Направленіе* равнодѣйствующей притяженій земли совпадаетъ конечно съ направленіемъ отдѣльно дѣйствующихъ силъ притяженія; поэтому равнодѣйствующая также какъ и каждая изъ послѣднихъ, должна идти по продолженію своемъ къ центру земли. И въ этомъ случаѣ опытъ представляетъ намъ легкое средство для опредѣленія направленія этой равнодѣйствующей на всякомъ мѣстѣ земной поверхности. Если повѣсить на нити какое нибудь тѣло и потомъ подождать пока прекратятся всѣ колебанія и наступитъ равновѣсіе, то направленіе нити покажетъ направленіе равнодѣйствующей силы притяженія земли, потому что сила препятствующая паденію тѣла, дѣйствуетъ по направленію нити и равновѣсіе можетъ быть только въ томъ случаѣ, когда направленіе равнодѣйствующей силы притяженія земли совпадаетъ съ направленіемъ равной и противоположной силы, заключающейся въ сцѣпленіи частицъ нити. Свинцовая гиря (фиг. 251), висящая на бичевкѣ, указываетъ въ положеніи равновѣсія направленіемъ бичевки линію, идущую къ центру земли, или говоря другими словами, составляющее продолженіе земнаго радіуса. Поэтому для опредѣленія линіи, совпадающей на всякомъ мѣстѣ земной поверхности съ направленіемъ земнаго радіуса, стоитъ только опустить *отвѣсъ*, т. е. свинцовый шарикъ прикрѣпленный къ бичевкѣ, которая и укажетъ намъ искомое направленіе.

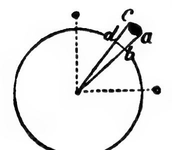
Направленіе тяжести.

Фиг. 251.

Направленіе вытянутой нити, называемое *отвѣснымъ* или *вертикальнымъ*, какъ показываютъ опыты, всегда составляетъ прямой уголъ съ поверхностію воды, находящейся въ покоѣ. Вотъ почему и говорятъ, что поверхность послѣдней имѣетъ *горизонтальное* положеніе, которое всегда бываетъ перпендикулярно къ направленію тяжести.



Два отвѣса, опущенные на различныхъ мѣстахъ земной поверхно-
Фиг. 252.



сти, означенные на фиг. 252-й пересѣченіемъ пунктированныхъ линій, не параллельны между собою, но сходятся въ центрѣ земли, образуя болѣе или менѣе значительный уголъ. Если же обѣ разсматраваемыя точки лежатъ весьма близко между собою, какъ напр. точки *c* и *a*, такъ что разстояніе *ca* дѣлается ничтожнымъ сравнительно съ радіусомъ земли, то и уголъ, образуемый отвѣсами, пересѣкающимися въ центрѣ, становится ничтожнымъ. Понятно, что въ этомъ случаѣ мы можемъ принять направленіе отвѣсовъ параллельными другъ другу. Очевидно также, что каждый отвѣсъ долженъ быть перпендикуляренъ къ земной поверхности, потому что каждый радіусъ земли перпендикуляренъ къ той части шаровой поверхности, на которую онъ падаетъ; слѣдовательно и продолженіе радіуса, т. е. отвѣсъ, долженъ быть перпендикуляренъ къ ней.

Но это можетъ быть справедливо только въ томъ случаѣ, если бы земля подобно правильному шару представляла совершенно гладкую поверхность. Только при этомъ условіи всѣ отвѣсы, опущенные на различныя точки земной поверхности, могутъ сохранять одинаковое положеніе относительно послѣдней. Поверхность же земли, представляетъ повсюду самыя разнообразныя положенія, которыя не остаются постоянными, а какъ мы знаемъ бываютъ подвержены различнымъ измѣненіямъ. По этому мы должны искать на землѣ такой поверхности, которая бы на каждомъ мѣстѣ сохраняла одинаковое положеніе къ отвѣсу. Опытъ показываетъ, что этому условію удовлетворяетъ поверхность спокойной воды, которая всегда составляетъ прямой уголъ съ направленіемъ отвѣса.

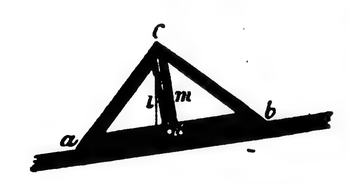
Впослѣдствіи когда мы будемъ говорить о вліяніи тяжести на равновѣсіе капельножидкихъ тѣлъ увидимъ, что каждая точка поверхности спокойной жидкости въ двухъ сообщающихся между собою сосудахъ должна находиться въ равномъ разстояніи отъ центра земли. Тоже самое мы можемъ примѣнить и къ поверхности огромныхъ океановъ и морей соединяющихся между собою. Представимъ себѣ, что воды Атлантическаго и Южнаго океановъ вмѣстѣ съ водами соединяющихся съ ними морей, находятся на мгновеніе въ спокойномъ состояніи. На основаніи предыдущаго очевидно, что огромное пространство, занимаемое ими, представитъ намъ часть шарообразной поверхности, ограниченной положеніемъ береговъ. Положимъ теперь, что различныя части этой поверхности по продолженіи сохраняютъ свою кривизну. Понятно, что продолженныя поверхности эти должны пройти подъ верхними слоями земли и соединиться между собою внутри материка. По соединеніи своемъ части эти образуютъ совершенно ровную сферическую поверхность, не имѣющую ни возвышеній, ни углубленій. Подъ этой то поверхностію частію дѣйствительной, а частію воображаемой мы разумѣемъ собственно *поверхность земли*, когда говоримъ о перпендикулярномъ направленіи отвѣсовъ. Поверхность эту называютъ также *горизонтальною*. Поэтому, если го-

ворятъ напримѣръ, что такое то зданіе, на какомъ либо мѣстѣ земли, имѣетъ 30 саженъ надъ поверхностію моря, то все одно и тоже, если бы сказали, что продолженная поверхность моря проходитъ подъ первымъ этажемъ зданія на отвѣсной глубинѣ 30 саженъ. Точно также есть мѣста на земной поверхности, какъ напр. равнины Голландіи, которыя лежатъ надъ поверхностію моря, т. е. что продолженная поверхность его проходитъ надъ этою полосою земли.

Употребленіе отвѣса имѣетъ обширное примѣненіе въ строительномъ искусствѣ: стѣны зданій, планки у дверей и у оконъ должны, какъ извѣстно, стоять перпендикулярно и параллельно одна къ другой.

Направленія эти опредѣляются посредствомъ отвѣса, играющаго главную роль въ простомъ приборѣ, называемомъ *отвѣсомъ* или *ватерпасомъ*. Онъ состоитъ изъ равнобедреннаго треугольника *abc* (фиг. 253), имѣющаго по срединѣ въ *m* прорѣзъ *cd* перпендикулярный къ основанію *ab;* въ вершинѣ треугольника укрѣплена гиря съ нитію *l*. Очевидно, что гиря эта можетъ совпадать съ прорѣзомъ въ томъ только случаѣ, когда линія *ab* сохраняетъ горизонтальное положеніе. Если по приложеніи этой стороны къ какой нибудь плоскости, гиря *l* отклонится въ сторону отъ прорѣза, то это будетъ значить, что плоскость не составляетъ горизонтальнаго положенія.

Фиг. 253.



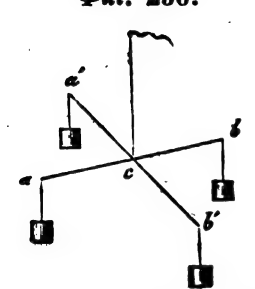
§ 110. Второй вопросъ состоитъ въ опредѣленіи *точки приложенія* равнодѣйствующей параллельныхъ силъ притяженія земли на тѣло. Изъ предъидущаго мы знаемъ, что параллельныя точки, неподвижно соединенныя между собою, всегда имѣютъ одну точку, которая будетъ точкою приложенія равнодѣйствующей для какого угодно положенія системы точекъ, подверженныхъ дѣйствію параллельныхъ силъ. Однимъ словомъ, опредѣленіе центра параллельныхъ силъ имѣетъ здѣсь непосредственное свое приложеніе. Центръ тяжести.

Одно и тоже тѣло въ положеніяхъ, изображенныхъ на фигурахъ 254 и 255, представляетъ одинаковую систему матеріяльныхъ точекъ въ двухъ различныхъ положеніяхъ. Въ обоихъ этихъ положеніяхъ число дѣйствующихъ силъ одно и тоже, и притомъ въ каждомъ положеніи силы эти параллельны между собою. Поэтому, намъ должно опредѣлить въ одномъ только положеніи тѣла центръ ихъ дѣйствія, для того, чтобы знать точку приложенія равнодѣйствующей притягательныхъ силъ и для каждаго новаго положенія тѣла. Въ послѣдней точкѣ мы можемъ представить себѣ сосредоточенными всѣ дѣйствія притяженій земли на тѣло и слѣдовательно всю тяжесть его. Эта точка приложенія равнодѣйствующей всѣхъ, параллельно дѣйствующихъ, силъ притяженія земли на частицы тѣла, называется *центромъ тяжести* его.

Фиг. 254 и 255.

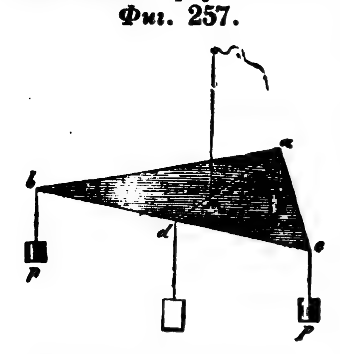
Чтобы доказать, что въ каждомъ тѣлѣ находится центръ тяжести, представимъ себѣ прямую несгибаемую линію ab (фиг. 256). Положимъ, что линія эта подперта по срединѣ и что къ обоимъ концамъ ея привѣшены равныя гири. На основаніи законовъ дѣйствія параллельныхъ силъ равновѣсіе будетъ существовать и въ томъ случаѣ, когда мы станемъ обращать линію ab вокругъ точки приложенія равнодѣйствующей, т. е. равновѣсіе будетъ существовать какъ въ положеніи ab, такъ и въ положеніи $a'b'$. Представимъ себѣ, что обѣ матеріяльныя точки a и b соединены между собою прямою линіею ab, неимѣющею вѣса. Ясно, что и въ этомъ случаѣ при всякомъ положеніи линіи ab равновѣсіе будетъ существовать только тогда, когда подперта точка c. Эта точка c и составляетъ здѣсь центръ тяжести тѣла, состоящаго изъ двухъ частицъ, потому что, не нарушая равновѣсія, мы можемъ представить себѣ дѣйствіе тяжести обѣихъ частицъ сосредоточеннымъ въ точкѣ c.

Фиг. 256.



Если три равныя параллельныя силы дѣйствуютъ на три конечныя точки треугольника abe, неимѣющаго вѣса (фиг. 257), то мы можемъ легко опредѣлить точку приложенія равнодѣйствующей этихъ силъ. Не нарушая равновѣсія треугольника, мы можемъ соединить обѣ силы, дѣйствующія на b и e, въ одну равнодѣйствующую, приложенную къ срединѣ d линіи ab. Чрезъ это мы получаемъ вмѣсто трехъ только двѣ силы, дѣйствующія на точки a и d. Сила, дѣйствующая на d, въ два раза болѣе силы приложенной къ a; поэтому, если раздѣлить линію ad точкою m на такія двѣ части, чтобы am было въ два раза болѣе dm, то очевидно, что между двумя параллельными силами $2p$ и p, дѣйствующими на точки d и a, будетъ существовать равновѣсіе, несмотря на положеніе линіи ad. Но какъ сила дѣйствующая въ d есть ничто иное, какъ равнодѣйствующая параллельныхъ силъ, дѣйствующихъ на b и e, то, не измѣняя равновѣсія, мы можемъ взять послѣднія вмѣсто ихъ равнодѣйствующей. Слѣдовательно между треия параллельными силами, приложенными къ точкамъ a, b и e, равновѣсіе будетъ существовать только въ томъ случаѣ, когда подперта точка m, или когда къ m приложена въ противоположномъ направленіи сила равная $3p$, не смотря на то, каково бы ни было положеніе треугольника.

Фиг. 257.



Положимъ теперь, что точки a, b и e три матеріяльныя и неизмѣнно соединенныя между собою частицы; тяжесть этихъ частицъ будетъ дѣйствовать точно также, какъ гири, привѣшенныя къ оконечностямъ треугольника a, b и e. Понятно, что тѣло, состоящее изъ

трехъ этихъ частицъ, придетъ только тогда въ равновѣсіе, когда будетъ подпертъ центръ тяжести его *m*.

Подобно тому, какъ мы доказали, что двѣ и три матеріяльныя неизмѣнно соединенныя частицы, должны имѣть центръ тяжести, точно также легко показать, что центръ тяжести существуетъ для 4, 5, 6 и такъ далѣе частицъ неизмѣнно соединенныхъ между собою и что наконецъ всякое твердое тѣло должно имѣть неизмѣнный центръ тяжести, какъ бы не было велико число частицъ, изъ которыхъ оно составлено.

§ 111. Какъ для предохраненія тѣла отъ паденія должно только доставить опору его центру тяжести, то очевидно, что во многихъ случаяхъ въ обыкновенной жизни и въ техникѣ, бываетъ важно знать положеніе этой точки въ каждомъ тѣлѣ. Съ другой стороны знаніе центра тяжести тѣла чрезвычайно упрощаетъ изслѣдованія явленій движенія, потому что вмѣсто разсматриванія одновременнаго дѣйствія безконечно большаго числа силъ на безконечно большое число точекъ, для насъ достаточно только имѣть въ виду одинъ центръ тяжести и опредѣлить дѣйствіе равнодѣйствующей на одну только эту точку. Обстоятельство это и заставляетъ насъ опредѣлить положеніе центра тяжести нѣкоторыхъ тѣлъ, имѣющихъ правильную форму. Нахожденіе центра тяжести.

Простѣйшая задача, которую можно здѣсь предложить, есть опредѣленіе центра тяжести прямой линіи. Очевидно, что центръ тяжести прямой линіи лежитъ по срединѣ ея, потому что по обѣ стороны отъ этой точки находится одинаковое число равно отстоящихъ отъ нея матеріяльныхъ частицъ. Легко также найти помощію совершенно простыхъ геометрическихъ соображеній центръ тяжести плоскости, ограниченной тремя прямыми линіями или треугольника. Не должно при этомъ упускать изъ вида, что употребляя здѣсь выраженіе плоскость, мы разумѣемъ подъ нею тѣло, толстота котораго принимается безконечно малою сравнительно съ цѣлымъ протяженіемъ. Если соединимъ среднюю точку *d* линіи *ac* (фиг. 258), съ вершиною противоположнаго угла *b* треугольника *abc*, то чрезъ это весь треугольникъ раздѣлится на двѣ равныя части, точно также какъ и каждая линія, подобно *mn*, параллельная къ *ac*. Слѣдовательно, если подпереть треугольникъ по направленію *bd* заостреннымъ ребромъ какого нибудь тѣла, то онъ не будетъ падать потому, что по обѣ стороны линіи *bd* равное число одинаково притягиваемыхъ землею точекъ, изъ которыхъ каждая имѣетъ на противоположной сторонѣ линіи *bd*, въ равномъ разстояніи отъ послѣдней, соотвѣтственную себѣ точку. Поэтому центръ тяжести треугольника долженъ лежать на самой линіи *bd*. Если соединимъ далѣе средину *f* стороны *bc* съ *a*, то разсуждая точно такимъ же образомъ, увидимъ, что центръ тяжести долженъ находиться также и на линіи *af*. Слѣдовательно точка пересѣченія линій *bd* и *af* и есть центръ тяжести тре-

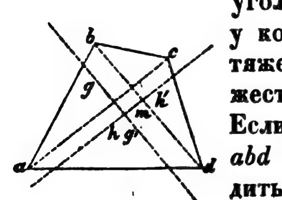
Фиг. 258.

угольника. Значитъ треугольникъ не будетъ падать, если только подпереть точку g, т. е. если къ g приложить силу, равную тяжести треугольника и дѣйствующую по вертикальному направленію кверху.

Теперь легко уже видѣть способъ, по которому можно опредѣлять положеніе центра тяжести какого угодно многоугольника, потому что для сложнѣйшихъ фигуръ, тотъ же самый способъ становится только продолжительнѣе.

Положимъ, что требуется опредѣлить центръ тяжести четвероугольника $abcd$ (фиг. 259). Если раздѣлить четвероугольникъ линіей ac на два треугольника abc и acd, у которыхъ точки g и g' представляютъ центры тяжести ихъ, то очевидно, что общій центръ тяжести всей фигуры будетъ лежать на линіи gg'. Если h и h' будутъ центры тяжести треугольниковъ abd и bcd, то ясно, что на линіи hh' будетъ находиться также и центръ тяжести четвероугольника. Поэтому искомая точка m должна находиться на пересѣченіи линій gg' и hh'.

Фиг. 259.



Положеніе m на линіи gg' можно опредѣлить также и другимъ образомъ: такъ какъ g и g' представляютъ центры тяжести частей четвероугольника, то вмѣсто полнаго дѣйствія земли на четвероугольникъ, мы можемъ имѣть въ виду только двѣ силы, дѣйствующія по одному направленію на точки g и g'; величина этихъ силъ выразится вѣсомъ треугольниковъ abc и acd. Точки приложенія равнодѣйствующей этихъ параллельныхъ силъ, будутъ также точкою приложенія равнодѣйствующей всѣхъ притяженій, дѣйствующихъ на $abcd$, т. е. центръ тяжести четвероугольника. Но точка приложенія равнодѣйствующей двухъ параллельныхъ силъ лежитъ тѣмъ ближе къ бо́льшей изъ нихъ, чѣмъ напряженность ея сильнѣе напряженности ме́ньшей силы. Поэтому центръ тяжести m будетъ имѣть такое положеніе, при которомъ mg' относится къ mg, какъ плоскость или вѣсъ abc относится къ плоскости или вѣсу acd.

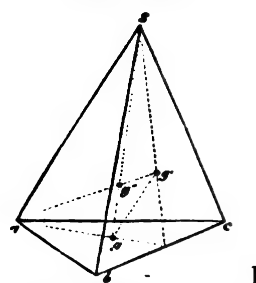
Изъ этого видно, что сущность способа опредѣленія центра тяжести заключается въ томъ, чтобы опредѣлить линіи, на которыхъ лежитъ центръ тяжести; если найдены двѣ такія линіи, то центръ тяжести опредѣленъ, потому что точка лежащая въ одно время на обѣихъ линіяхъ, т. е. точка ихъ пересѣченія и есть искомый центръ тяжести. Для опредѣленія же линій, на которыхъ находится центръ тяжести, надобно раздѣлить фигуру на такія части, для которыхъ положеніе центра уже извѣстно. Теперь само собою понятно, какъ должно поступать для опредѣленія центра тяжести пятиугольника или вообще какого угодно многоугольника; очевидно также, что для сложнѣйшихъ фигуръ способъ нахожденія остается одинъ и тотъ же, съ тою только разницею, что самое нахожденіе становится продолжительнѣе и труднѣе.

Все сказанное нами относится только къ правильнымъ многоугольникамъ; но если же фигура имѣетъ неправильное очертаніе, то графическое опредѣленіе центра тяжести ея становится даже невыпол-

нимымъ, и въ этомъ случаѣ мы должны искать практическаго способа, который бы позволялъ опредѣлять центръ тяжести всякаго тѣла, независимо отъ фигуры его.

Но прежде объясненія практическаго способа, покажемъ положеніе центра тяжести *тѣлъ* ограниченныхъ правильными плоскостями.

Фиг. 260.

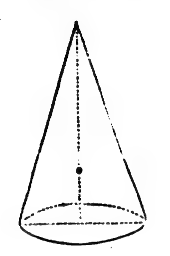


Одинъ взглядъ на чертежъ можетъ удостовѣрить насъ, что центръ тяжести призмы (фиг. 260) лежитъ по срединѣ линіи *ab* въ точкѣ *g* въ томъ случаѣ, когда центры тяжести параллельныхъ конечныхъ плоскостей призмы находятся въ точкахъ *a* и *b*. И въ самомъ дѣлѣ, раздѣливъ мысленно призму на безчисленное множество треугольниковъ параллельныхъ конечнымъ плоскостямъ, мы получимъ на линіи *ab* центры тяжести всѣхъ этихъ треугольниковъ. Кромѣ того, *ab* представляетъ линію, всѣ точки которой одинаково притягиваются центромъ земли, потому что каждая изъ нихъ есть центръ тяжести равнаго по величинѣ треугольника. Поэтому средина *ab*, какъ линіи, состоящей изъ точекъ одинаковаго вѣса, есть искомый центръ тяжести.

Фиг. 261.

Для нахожденія центра тяжести *трехсторонней пирамиды* (фиг. 261), стоитъ только провести отъ оконечностей *s* и *a* линіи къ центрамъ тяжестей *g* и *g'* противолежащихъ треугольниковъ. Точка *g''* пересѣченія этихъ двухъ линій и есть искомый центръ тяжести. Легко доказать, что $gg''=\frac{1}{4}gs$.

Фиг. 262.



Центръ тяжести *конуса* (фиг. 262), имѣющаго въ основаніи кругъ, лежитъ на прямой линіи, проведенной отъ вершины къ срединѣ основанія, и разстояніе его равно $\frac{1}{4}$ этой линіи.

Центръ тяжести цилиндра лежитъ посрединѣ его оси; центръ тяжести шара въ геометрическомъ центрѣ его, точно также какъ центръ тяжести кольца находится въ центрѣ его, слѣдовательно внѣ тѣла.

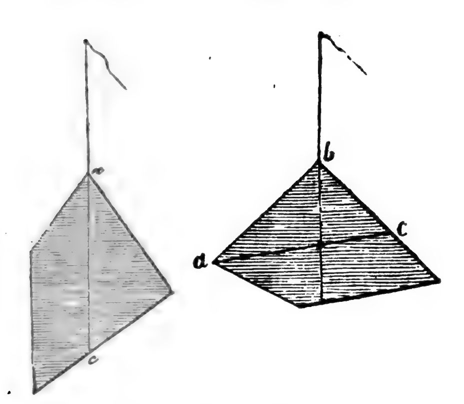
Все сказанное нами относится къ тому случаю, когда тѣла кромѣ правильности ихъ формы имѣютъ еще однородную массу. Но такъ какъ тѣла даже самыя правильныя не всегда удовлетворяютъ послѣднему условію, то и прибѣгаютъ къ практическимъ способамъ опредѣленія центра тяжести.

Всѣ практическіе способы основываются на томъ, чтобы опредѣлить посредствомъ опыта положеніе двухъ линій, на которыхъ лежитъ центръ тяжести.

Если тѣло небольшаго объема и не очень значительнаго вѣса, то для опредѣленія точки пересѣченія двухъ линій, на которыхъ нахо-

дится центръ тяжести его, можно употребить способъ *привѣшиванія* его къ нити. Положимъ, что тѣло привѣшено къ нити точкою *a* (фиг. 263). Такъ какъ тѣло можетъ прійти въ состояніе покоя только въ томъ случаѣ, когда центръ тяжести его будетъ лежать прямо подъ точкою привѣса, то очевидно, что направленіе нити во время равновѣсія покажетъ намъ направленіе линіи *ac*, по которой центръ тяжести его стремится къ землѣ. Потомъ прикрѣпляютъ нить къ другой точкѣ тѣла, напр. *b* (фиг. 264). Въ этомъ случаѣ мы получимъ вторую линію *bd*. Пересѣченіе этихъ двухъ линій и дастъ намъ искомый центръ тяжести. Чтобы знать положеніе этихъ линій, стоитъ только при каждомъ привѣшиваніи означить на поверхности тѣла двумя точками направленіе, въ которомъ оно пересѣкается съ продолженіемъ отвѣсной линіи.

Фиг. 263. *Фиг.* 264.



Этого способа нельзя употребить когда тѣло имѣетъ значительные размѣры или большой вѣсъ. Тогда можно поступить слѣдующимъ образомъ. Къ тѣлу *A* (фиг. 265), центръ тяжести котораго требуется опредѣлить, прикрѣпляется твердая палка или бревно *ab*. Къ концамъ *a* и *b* привязываются веревки, которыя проходятъ чрезъ блоки и оканчиваются чашками или помостами. На чашки кладутся тяжести *P* и *Q*. Понятно, что для равновѣсія цѣлой системы необходимо, чтобы обѣ тяжести *P* и *Q* были равны вѣсу *R* тѣла A, т. е. чтобы $P+Q=R$. Если *dc* есть вертикальная линія, въ которой лежитъ искомый центръ тяжести, то мы будемъ имѣть три силы *P*, *Q* и *R*, дѣйствующія на *AB* въ параллельномъ направленіи и при томъ такимъ образомъ, что *R* дѣйствуетъ внизъ, а *P* и *Q* — вверхъ. Значитъ, мы можемъ опредѣлить разстояніе *ac* въ томъ случаѣ, когда оно будетъ удовлетворять условію равновѣсія параллельныхъ силъ.

Фиг. 265.

Но изъ условій равновѣсія параллельныхъ силъ мы знаемъ, что для этого необходимо, чтобы $ac.Q=cb.P$ или $ac.Q=(ab-ac)P$. Отсюда $ac=ab\frac{P}{P+Q}=ab\frac{P}{R}$. Какъ *ab*, *P* и *R* величины извѣстныя, то изъ этого равенства опредѣлится разстояніе *ac*, а слѣдовательно и положеніе линіи *dc*, на которой находится центръ тяжести тѣла. Точно также можно получить и положеніе второй линіи. Пересѣченіе обѣихъ линій и дастъ намъ мѣсто искомаго центра тяжести.

Изъ этого видно, что и практическіе способы опредѣленія центра тяжести тѣлъ, имѣютъ также свои неудобства. Къ счастію въ большей части случаевъ, какъ напр. при постройкахъ, гдѣ бываетъ особенно важно знать положеніе центра тяжести, приходится имѣть дѣло съ правильными и симметрическими тѣлами, при которыхъ опредѣленіе центра тяжести не представляетъ никакой трудности.

§ 112. Мы уже говорили, что для предохраненія тѣла отъ паденія или, говоря другими словами, для доставленія тѣлу возможности сохранить равновѣсіе съ силою тяжести, заставляющей частицы его стремиться книзу, необходимо употребить силу, которая бы равнялась равнодѣйствующей всѣхъ отдѣльныхъ силъ тяжести этихъ частицъ и дѣйствовала бы прямо противоположно ей. Слѣдовательно надобно найти такую силу, которая проходила бы чрезъ центръ тяжести тѣла и направлялась бы отвѣсно кверху. Само собою разумѣется, что точка приложенія этой равнодѣйствующей силы должна находиться въ неизмѣнномъ соединеніи съ центромъ тяжести тѣла. Условія равновѣсія тѣлъ.

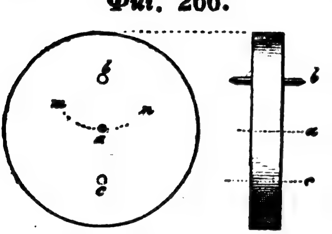
Сила, употребляемая въ большей части случаевъ для предохраненія тѣлъ отъ паденія, обыкновенно заключается въ томъ *сопротивленіи*, которое представляютъ твердыя тѣла вслѣдствіе значительнаго сцѣпленія ихъ частицъ. Необходимо только, чтобы это сопротивленіе находилось въ какомъ либо мѣстѣ отвѣсной линіи, проходящей чрезъ центръ тяжести и было бы въ неизмѣнномъ соединеніи съ нимъ.

Центръ тяжести тѣла, какъ мы уже сказали, есть точка, въ которой сосредоточивается все дѣйствіе тяжести тѣла. Такъ какъ это дѣйствіе направляется къ средоточію земли, то очевидно, что центръ тяжести постоянно стремится приблизиться къ центру земли, т. е. стремится къ паденію и занятію по возможности болѣе низкаго мѣста. Поэтому, если вывести центръ тяжести изъ занимаемаго имъ положенія и потомъ предоставить его самому себѣ, то очевидно, что онъ тотчасъ займетъ прежнее мѣсто. На этомъ свойствѣ центра тяжести основано и самое различіе въ равновѣсіяхъ, доставляемыхъ тѣлу различными сопротивленіями.

Сопротивленія эти могутъ быть доставляемы тѣламъ различными способами, которыя можно подвести подъ два главныя случая: тѣла могутъ быть *повѣшены* и могутъ быть *подперты*.

§ 113. Разсмотримъ сперва равновѣсіе тѣлъ повѣшенныхъ. Представимъ себѣ небольшой кружокъ (фиг. 266), состоящій изъ однородной массы и снабженный тремя сквозными отверстіями *a*, *b* и *c*, изъ которыхъ *a* проходитъ чрезъ центръ тяжести кружка, а два другія находятся на одной съ нимъ прямой линіи. Для равновѣсія этого кружка, какъ мы знаемъ, необходимо чтобы точка привѣса и центръ тяжести находились на одной отвѣсной линіи. Роды равновѣсія тѣлъ висящихъ.

Фиг. 266.



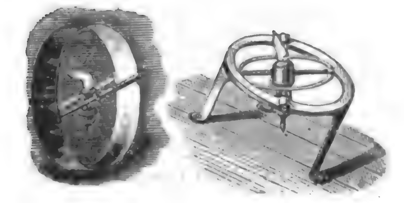
Если чрезъ отверстіе *a*, соотвѣтствующее центру тяжести кружка, проткнуть твердую ось и повѣсить на ней кружокъ, то мы увидимъ, что онъ будетъ сохранять равновѣсіе при всѣхъ возможныхъ положеніяхъ, доставляемыхъ ему вращательнымъ движеніемъ на оси. Это потому, что какое бы мы не доставили положеніе кружку вращательнымъ движеніемъ, всегда центръ тяжести его будетъ сохранять одно и тоже мѣсто относительно прочихъ его частицъ. Такое положеніе равновѣсія называется *безразличнымъ*.

Если ось проходитъ чрезъ верхнее отверстіе *b*, то сколько бы мы не вращали кружокъ и тѣмъ самымъ не выводили кружокъ изъ положенія равновѣсія, онъ снова будетъ принимать послѣднее по прекращеніи дѣйствія силы, нарушающей его *равновѣсіе*. И въ самомъ дѣлѣ, если вращать кружокъ на оси *b*, то центръ тяжести его *a*, двигаясь по дугѣ *mn*, будетъ отодвигаться то вправо, то влѣво отъ отвѣсной линіи. Положимъ, что онъ находится въ точкѣ *n*; понятно, что въ этой точкѣ будутъ дѣйствовать на него двѣ силы: одна притягивающая его къ точкѣ привѣса *b*, а другая притягивающая его къ центру земли по отвѣсному направленію. Такъ какъ при положеніи центра тяжести въ точкѣ *n*, оба эти направленія находятся не на одной прямой линіи, а составляютъ извѣстный уголъ между собою, то очевидно, что отъ обоюднаго дѣйствія этихъ силъ центръ тяжести пойдетъ въ промежуткѣ между направленіями ихъ по дугѣ *na*, имѣющей радіусомъ линію *bn*. Достигнувъ точки *a*, въ которой направленія дѣйствовавшихъ на него силъ будутъ противоположны другъ другу, центръ тяжести долженъ бы оставаться въ покоѣ; но какъ въ тоже время, на основаніи инерціи, онъ пріобрѣлъ способность къ продолженію совершеннаго имъ движенія отъ *n* къ *a*, то очевидно, что при взаимномъ уничтоженіи обѣихъ упомянутыхъ нами силъ, онъ будетъ покоряться влеченію къ продолженію дальнѣйшаго движенія по дугѣ *am*. Но какъ при этомъ движеніи сила земнаго притяженія постоянно заставляетъ его опускаться книзу, то ясно, что скорость, доставляемая инерціею, должна наконецъ сдѣлаться равною нулю. Побуждаемый непрерывнымъ дѣйствіемъ притяженія земли, центръ тяжести устремится снова къ занятію самаго низкаго мѣста въ точкѣ *a*. Примѣняя приведенное нами разсужденіе къ движенію центра тяжести, мы поймемъ, что онъ долженъ бы постоянно двигаться по обѣ стороны отвѣсной линіи *ba*, если бы сопротивленіе воздуха и треніе, представляемое точкою вращенія *b*, не уменшали постепенно дугъ его движенія и не заставляли бы его наконецъ останавливаться на отвѣсной линіи *ba*, гдѣ дѣйствіе притяженія земли уничтожается сопротивленіемъ нити, притягивающей его къ точкѣ вращенія.

Равновѣсіе принимаемое тѣломъ при подобномъ расположеніи центра тяжести называется *устойчивымъ*, потому что тѣло само собою, при малѣйшемъ уклоненіи центра тяжести отъ отвѣсной линіи, приходитъ въ состояніе равновѣсія.

На свойствѣ устойчиваго равновѣсія повѣшенныхъ тѣлъ, основано устройство двухъ лампъ (фиг. 267 и 268), центры тяжести которыхъ расположены подъ точками привѣса. Первая изъ нихъ сохраняетъ отвѣсное положеніе постоянно во время обращенія обруча, а вторая при всѣхъ положеніяхъ треноги, на которой она

Фиг. 267 и 268.



повѣшена. Если укрѣпить самую треногу на какомъ либо мѣстѣ корабля, то, не смотря ни на какую качку, масло не выльется изъ лампы.

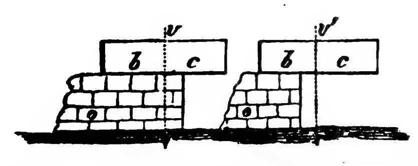
Положимъ теперь, что ось проходитъ чрезъ отверстіе *c*. Если мы приведемъ кружокъ при этомъ положеніи въ состояніе равновѣсія, то нетрудно замѣтить, что при малѣйшемъ отклоненіи центра тяжести отъ вертикальной линіи проходящей чрезъ *c*, онъ не будетъ уже возвращаться въ прежнее свое положеніе, а будетъ стремиться постоянно книзу до тѣхъ поръ, пока не расположится подъ точкою *a* на одной отвѣсной линіи съ нею. Такое положеніе равновѣсія называется *неустойчивымъ*.

Изъ изложеннаго нами видно, что всякое тѣло повѣшенное на оси можетъ находиться въ устойчивомъ, неустойчивомъ и безразличномъ равновѣсіи, судя потому будетъ ли находиться центръ его тяжести ниже, выше или въ самой оси.

§ 114. Тѣже самые роды равновѣсія представляютъ намъ и *подпертыя* тѣла. Роды равновѣсія тѣлъ подпертыхъ.

Главнѣйшее условіе равновѣсія остается тѣмъ же, т. е. для равновѣсія необходимо, чтобы центръ тяжести и точка опоры находились на одной отвѣсной линіи. Такимъ образомъ полоса *bc* (фиг. 269*a*) находится въ равновѣсіи съ дѣйствіемъ тяжести, когда отвѣсная линія *v*, проходящая чрезъ центръ тяжести, встрѣчаетъ въ какой нибудь точкѣ твердое тѣло, могущее служить для ней опорой. Если бы положенная на опору полоса выходила за нее, какъ представлено на фиг. 269*b*, то отвѣсная линія *v′* не будетъ уже имѣть опоры *o′* и полоса въ этомъ случаѣ упадетъ книзу.

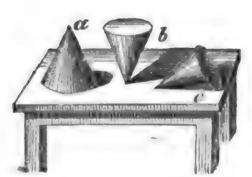
Фиг. 269*a*. Фиг. 269*b*.



Равновѣсіе *подпертыхъ* тѣлъ бываетъ *безразличнымъ* въ томъ случаѣ, когда высота центра тяжести надъ опорой остается таже самая при всѣхъ положеніяхъ принимаемыхъ тѣломъ; примѣромъ этого равновѣсія можетъ служить намъ шаръ. Равновѣсіе бываетъ *устойчивое*, когда центръ тяжести занимаетъ самое низкое мѣсто. Примѣняя къ этому случаю сказанное нами объ устойчивомъ равновѣсіи повѣшенныхъ тѣлъ, не трудно понять, что послѣ всякаго уклоненія центра тяжести подпертаго тѣла отъ отвѣсной линіи, проходящей чрезъ точку опоры, онъ будетъ снова занимать прежнее свое положеніе. И въ самомъ дѣлѣ опытъ показываетъ, что тѣло выведенное въ этомъ случаѣ изъ равновѣсія, принимаетъ его снова послѣ нѣсколькихъ качаній. Наконецъ равновѣсіе бываетъ *неустойчивымъ*, когда центръ тяжести подпертаго тѣла находится выше точки опоры и равновѣсіе бываетъ тѣмъ неустойчивѣе, чѣмъ выше расположенъ при этомъ центръ тяжести надъ точкою опоры. Выведя тѣло изъ положенія его равновѣсія, т. е. отклонивъ хотя на незначительную величину центръ тяжести отъ отвѣсной линіи, проходящей

чрезъ точку опоры, мы увидимъ, что тѣло опрокинется, потому что центръ тяжести его не будетъ находить для себя опоры внѣ этой отвѣсной линіи. Побуждаемый тяжестію онъ будетъ стремиться падать книзу до тѣхъ поръ, пока не займетъ самаго низкаго мѣста, т. е. пока нерасположится отвѣсно подъ точкою опоры. Примѣръ неустойчиваго равновѣсія представляетъ намъ палка, удерживаемая въ вертикальномъ положеніи концомъ пальца. Всякому извѣстно, что поддержаніе центра тяжести въ одной отвѣсной линіи съ точкою опоры достигается только при помощи движеній, при которыхъ палецъ постоянно приводится къ отвѣсной линіи, проходящей чрезъ центръ тяжести. Примѣръ этихъ трехъ родовъ равновѣсія подпертыхъ тѣлъ, представляетъ фиг. 270.

Фиг. 270.

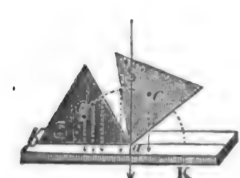


Устойчивость тѣлъ. § 115. Все сказанное нами о равновѣсіи подпертыхъ тѣлъ относится къ тѣмъ случаямъ, когда центръ тяжести и точка, которою опирается тѣло на подставу, *находятся въ одной отвѣсной линіи.* Но тѣло можетъ опираться на подставу также нѣсколькими точками своими, какъ напр. два крайніе конуса, представленные на фиг. 270, изъ которыхъ лѣвый сохраняетъ устойчивое, а правый безразличное равновѣсіе. Тоже самое представляютъ столы, стулья и тому подобные предметы, опирающіеся нѣсколькими ножками на полъ. Въ этомъ случаѣ плоскость, образуемая отъ соединенія прямыми линіями точекъ опоры, должна быть принимаема за плоскость опоры.

Посмотримъ отъ какихъ условій зависитъ наибольшая устойчивость тѣлъ. Какимъ бы образомъ тѣло не покоилось на опорѣ, оно будетъ оставаться до тѣхъ поръ въ равновѣсіи, пока отвѣсная линія, проходящая чрезъ центръ тяжести, не будетъ выходить изъ плоскости опоры.

Представимъ себѣ, что треугольникъ *S* (фиг. 271) представляетъ разрѣзъ конуса, проходящій чрезъ діаметръ его основанія и чрезъ вершину, и положимъ, что разрѣзъ основанія *ab* опирается на какую нибудь неподвижную плоскость *K*. Обращая конусъ на точкѣ *a* и чрезъ то выводя его изъ состоянія равновѣсія, мы увидимъ, что отъ дѣйствія тяжести онъ будетъ приходить въ первоначальное положеніе до тѣхъ поръ, пока центръ тяжести *c* не перейдетъ по другую сторону отвѣсной линіи, проходящей чрезъ точку вращенія *a*. Одинъ взглядъ на чертежъ показываетъ намъ почему конусъ *S′* не можетъ уже падать влѣво, а долженъ опрокидываться на правую сторону. Слѣдовательно, для полученія болѣе *устойчиваго* равновѣсія недостаточно доставлять опору той точкѣ тѣла, которая находится на отвѣсной линіи подъ центромъ тяжести, но необходимо также, чтобы и *окружающая ее поверхность лежала* на какомъ либо основаніи.

Фиг. 271.

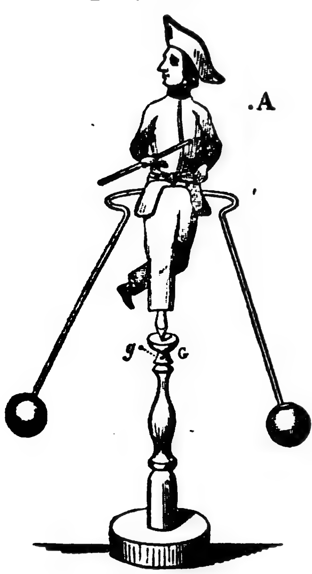


Представимъ себѣ два тѣла *одинаковаго основанія*: камень (фиг. 272) и деревянный брусъ (фиг. 273), изъ которыхъ послѣдній выше перваго. Опрокидываніе камня будетъ затруднительнѣе, потому что для этого должно заставить центръ тяжести его пройти большій путь, нежели у деревяннаго бруса. Значитъ всякое тѣло стоитъ тѣмъ устойчивѣе, *чѣмъ ниже расположенъ центръ его тяжести*. — Свойствомъ этимъ пользуются для доставленія устойчивости тѣлу, находящемуся въ неустойчивомъ равновѣсіи. Такъ напримѣръ, мы знаемъ, что палка удерживаемая въ вертикальномъ положеніи концомъ пальца, сохраняетъ неустойчивое равновѣсіе.

Фиг. 272 и 273.



Фиг. 274.



Для доставленія палкѣ устойчивости, продѣваютъ поперегъ ее толстую проволоку; концы этой проволоки, снабженные свинцовыми шариками, загибаютъ книзу такимъ образомъ, чтобы они приходились ниже точки опоры. Чрезъ это центръ тяжести цѣлой системы матеріяльныхъ точекъ, поддерживаемыхъ пальцемъ, будетъ находиться подъ опорою. Примѣръ подобнаго равновѣсія представляетъ намъ фиг. 274. Она состоитъ изъ небольшаго костянаго бюста, сквозь который продѣта проволока, оканчивающаяся шарикомъ. Понятно, что сколько бы мы не поворачивали бюстъ на точкѣ опоры, всегда онъ будетъ удерживаться на одной ногѣ, потому что при всѣхъ поворотахъ центръ тяжести будетъ постоянно находиться ниже точки опоры.

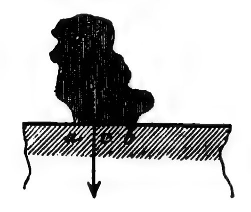
Возмемъ теперь два бруса: одинъ каменный (фиг. 275), а другой металлическій (фиг. 276), у которыхъ центры тяжести находятся на одной высотѣ отъ основаній различной ширины. Очевидно, что и въ этомъ случаѣ труднѣе опрокинуть камень, потому что центръ тяжести его должно поднять выше, нежели при поворачиваніи одинаковой высоты металлическаго бруса, у котораго основаніе уже. Это показываетъ намъ, что тѣло сохраняетъ свое равновѣсіе тѣмъ надежнѣе, чѣмъ при одинаковыхъ прочихъ обстоятельствахъ *шире основаніе, на которомъ оно покоится*. Не должно забывать, что въ обоихъ послѣднихъ примѣрахъ мы брали сравниваемыя тѣла одинаковаго вѣса.

Фиг. 275 и 276.

Устойчивость тѣла имѣетъ важное значеніе въ строительномъ искусствѣ; какъ напр. при устройствѣ стѣнъ, плотинъ, быковъ и тому подобныхъ предметовъ, должно сообщать имъ такую устойчивость, при которой они могли бы не колеблясь выносить боковыя натиски или толчки. Поэтому весьма важно знать не только отъ чего зависитъ устойчивость тѣла, но и самый способъ опредѣленія величины устойчивости.

Мы уже знаемъ, что для опрокидыванія тѣла стоитъ только вращать его около ребра, лежащаго въ плоскости его опоры. Если тѣло, имѣющее вѣсъ Q

Фиг. 277.



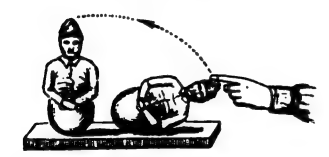
(фиг. 277), опрокинется на ребрѣ a, то оно повернется около этого ребра; точно также для опрокидыванія своего на ребрѣ b, тѣло должно произвести вращеніе около послѣдняго. Поэтому устойчивость тѣла въ отношеніи къ боковымъ ребрамъ a и b опредѣлится тѣмъ сопротивленіемъ, которое тѣло противоставляетъ вращенію своему около этихъ реберъ. Но очевидно, что величина этихъ сопротивленій есть ничто иное какъ моментъ вѣса или силы Q въ отношеніи къ a и къ b. И въ самомъ дѣлѣ, опустивъ изъ центра тяжести g тѣла отвѣсную линію gc на плоскость опоры ab, получимъ моментъ силы Q въ отношеніи къ a, т. е. $ac.Q$. Произведеніе это и покажетъ намъ, какъ велико стремленіе Q къ производству вращенія около a, по направленію означенному стрѣлкою, т. е. въ направленіи противномъ опрокидыванію. Отсюда слѣдуетъ, что $ac.Q$ можетъ также выражать сопротивленіе, противоставляемое силою Q опрокидыванію тѣла на ребрѣ a. Такимъ же образомъ $bc.Q$ показываетъ устойчивость Q относительно b. Поэтому самое общее опредѣленіе устойчивости тѣла будетъ заключаться въ слѣдующемъ: *устойчивость есть произведеніе вѣса тѣла, на разстояніе отвѣсной линіи, проходящей чрезъ центръ тяжести его, отъ ребра опрокидыванія.* Поэтому телега, имѣющая широкій ходъ, обладаетъ большею устойчивостію, чѣмъ телега съ узкимъ ходомъ; отвѣсная линія, проходящая чрезъ центръ тяжести, имѣетъ въ первомъ случаѣ большее разстояніе отъ ребра, на которомъ можетъ опрокинуться телега. Высоко нагруженные экипажи, у которыхъ узокъ ходъ, опрокидываются весьма часто, въ особенности

Фиг. 278.



на покатостяхъ (фиг. 278). При этомъ должно замѣтить, что повозки, нагруженныя сѣномъ, соломой, шерстью, пустымъ стекломъ и вообще предметами незначительной плотности, подвержены скорѣйшему опрокидыванію противу повозокъ нагруженныхъ плотными веществами, потому что въ послѣднемъ случаѣ центръ тяжести всего груза занимаетъ болѣе низкое мѣсто. На этомъ основаніи при нагрузкѣ повозокъ веществами различной плотности, плотнѣйшія вещи располагаются на самомъ низу, а на нихъ уже кладутся легчайшія. Въ новѣйшее время всѣ почтовыя кареты устраиваются такимъ образомъ, что большая часть груза находится на одной высотѣ съ осями колесъ, чрезъ что экипажи почти совершенно обезпечиваются отъ опрокидыванія.

Фиг. 279.

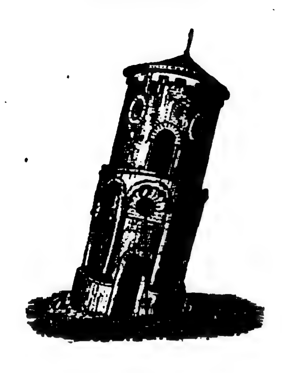


На этомъ же основано устройство извѣстныхъ игрушекъ (фиг. 279), которыя приходятъ сами собою въ отвѣсное положеніе послѣ каждаго насильственнаго наклоненія ихъ. Какъ извѣстно, центръ тяжести занимаетъ самую нижнюю часть въ этихъ игрушкахъ.

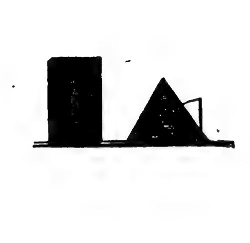
Фиг. 280.



Изъ фигуры 280-й не трудно понять, почему яйцо сохраняетъ устойчивость въ горизонтальномъ положеніи.



Фиг. 281.



Фиг. 282.

Наклонныя строенія (фиг. 281), изъ которыхъ нѣкоторыя пріобрѣли себѣ извѣстность, какъ напр. наклонныя башни въ итальянскихъ городахъ Пизѣ и Болоньѣ, сохраняютъ безопасно свое положеніе потому, что низкое расположеніе центра тяжести *o*, позволяетъ опущенной изъ него отвѣсной линіи падать на площадь, занимаемую ихъ основаніемъ —Точно также легко понять, почему устойчивость пирамиды надежнѣе устойчивости призмы (фиг. 282).

Примѣненія законовъ центра тяжести.

§ 116. Въ природѣ и въ искусствахъ мы встрѣчаемъ много явленій, въ которыхъ положеніе центра тяжести играетъ немаловажную роль. Животныя и люди, при всѣхъ своихъ позахъ и движеніяхъ, располагаютъ центръ тяжести такимъ образомъ, чтобы онъ былъ постоянно подпертъ. Когда человѣкъ стоитъ на мѣстѣ, то отвѣсная линія, проходящая чрезъ центръ тяжести его, должна падать посрединѣ основанія, образуемаго его ногами.

Если человѣкъ становится на одну ногу, то онъ тотчасъ нагибаетъ свое тѣло на сторону той ноги, которая опирается на землю: отъ несоблюденія этого условія легко можно упасть; когда человѣкъ во время ходьбы поднимаетъ лѣвую ногу, то онъ нагибается вправо, при поднятіи же правой ноги, онъ нагибается влѣво. Эти передвиженія тѣла во время ходьбы, съ правой стороны на лѣвую, наиболѣе бываютъ ощутительны въ томъ случаѣ, когда увеличивается разстояніе между положеніемъ ногъ, какъ это можно замѣтить у людей полныхъ или у животныхъ, у которыхъ ноги расположены на довольно большомъ разстояніи между собою, какъ напр. у гусей и утокъ. Чтобы пѣхота могла удобно двигаться въ сомкнутомъ строѣ, въ которомъ солдаты прикасаются локтями другъ къ другу, необходимо, чтобы всѣ люди начинали движеніе одновременно съ одной ноги, потому что только маршируя въ ногу, солдаты могутъ перемѣщать положеніе центра тяжести всѣмъ строемъ однообразно, безъ столкновеній. Чтобы предохранить себя отъ паденія при нечаянномъ толчкѣ, мы протягиваемъ руку по противоположному направленію, для того, чтобы снова помѣстить центръ тяжести надъ плоскостію опоры. Желая встать со стула обыкновенно нагибаются впередъ для того, чтобы помѣстить отвѣсную линію центра тяжести надъ основаніемъ, образуемымъ ногами. Положимъ, что человѣкъ, центръ тяжести котораго при обыкновенномъ положеніи лежитъ посрединѣ живота (фиг. 283), несетъ за спиною грузъ. Если соединить центръ тяжести груза съ центромъ тяжести тѣла человѣка, то мы получимъ равнодѣйствующую двухъ отдѣльныхъ силъ тяжести; точка приложенія этой равнодѣйствующей будетъ тѣмъ далѣе отъ центра тяжести тѣла человѣка, чѣмъ значительнѣе тяжесть, или чѣмъ болѣе разстояніе между центромъ тяжести груза и центромъ тяжести человѣка. Для предохраненія себя отъ паденія, человѣкъ долженъ принимать такое положеніе, чтобы общая равнодѣйствующая постоянно находилась надъ основаніемъ образуемымъ ногами. Вотъ почему человѣкъ, несущій грузъ на спинѣ, нагибаетъ впередъ верхнюю часть своего тѣла и тѣмъ значительнѣе, чѣмъ болѣе вѣсъ груза и чѣмъ далѣе отстоитъ отъ спины центръ тяжести послѣдняго.

Фиг. 283.



Солдатскій ранецъ есть также тяжесть, заставляющая солдата нагибать впередъ верхнюю часть своего тѣла; чтобы сдѣлать это нагибаніе по возможности незначительнымъ, даютъ обыкновенно ранцу широкую и плоскую форму, и прикладываютъ его широкой стороной къ спинѣ для того, чтобы центръ тяжести былъ какъ можно ближе къ послѣдней. Человѣкъ, несущій тяжесть передъ собою, нагибается назадъ для того, чтобы постоянно держать отвѣсную линію центра тяжести надъ основаніемъ, образуемымъ подошвами ногъ.

Фиг. 284.



На томъ же самомъ основаніи, когда человѣкъ несетъ грузъ въ лѣвой рукѣ (фиг. 284), то онъ нагибается на правую сторону и на оборотъ. Но если же онъ несетъ грузъ въ обѣихъ рукахъ, или нагруженъ двумя мѣшками, изъ которыхъ одинъ находится назади, а другой спереди, то очевидно, что онъ можетъ сохранять обыкновенное свое положеніе, при чемъ человѣкъ менѣе всего утомляется. Слабосильные люди весьма часто носятъ значительные грузы, помѣщая ихъ на головѣ такимъ образомъ, чтобы отвѣсная линія центра тяжести груза совпадала бы съ отвѣсною линіею центра тяжести тѣла ихъ; въ этомъ положеніи дѣйствіе груза для нихъ менѣе ощутительно; но нагруженные такимъ образомъ люди должны подвигаться впередъ небольшими равномѣрными шагами, для того, чтобы при быстромъ движеніи или при внезапномъ останавливаніи, вслѣдствіе инерціи грузъ несдвинулся бы съ своего мѣста; предосторожность эта въ особенности важна въ томъ случаѣ, если несутъ на головѣ сосудъ съ какою нибудь жидкостью. Знаніе положеній центра тяжести въ особенности важно для скульпторовъ и живописцевъ. Искусство ходить и танцовать на натянутомъ канатѣ, основано на пріобрѣтенной упражненіемъ способности — сохранять отвѣсную линію центра тяжести надъ узкою плоскостію веревки и возстановлять поспѣшно положеніе этой линіи, при малѣйшемъ уклоненіи ея отъ отвѣснаго положенія. Этому сохраненію направленія отвѣсной линіи, помогаютъ различными движеніями протянутыхъ рукъ и употребленіемъ длинныхъ палокъ, залитыхъ на оконечностяхъ свинцомъ; палки эти помогаютъ переносить центръ тяжести ниже точки опоры. Самымъ большимъ искусствомъ считается ходить по натянутому канату безъ палки со сложенными на груди руками. Посредствомъ такъ называемаго балансированія удерживаютъ въ вертикальномъ положеніи тѣла, покоющіяся на узкомъ основаніи, какъ напр. на оконечности пальца или на оконечности шпаги.

Тѣла значительнаго вѣса удерживаются легко въ отвѣсномъ положеніи, потому что въ этомъ случаѣ всѣ измѣненія въ давленіи могутъ быть легко ощущаемы. Тоже самое представляютъ намъ тѣла, у которыхъ центръ тяжести расположенъ высоко — это потому, что въ настоящемъ случаѣ, при паденіи центръ тяжести долженъ описывать большую дугу; а чѣмъ долѣе время движенія центра тяжести, тѣмъ очевидно болѣе представляется возможности для передвиженія основанія, на которомъ покоится тѣло, а слѣдовательно и для предупрежденія его отъ паденія.

Способностію въ перемѣщенію центра тяжести наиболѣе одарены птицы. Этому содѣйствуетъ длина шеи, соединяющей спину съ головою; понятно, что различныя положенія, принимаемыя шеею, способствуютъ къ измѣненію положенія центра тяжести. При летаніи центръ тяжести долженъ находиться подъ крыльями; чтобы достигнуть этого, птица вытягиваетъ голову по горизонтальному направленію. При ходьбѣ птица передвигаетъ голову то вправо, то влѣво, смотря потому на лѣвую или на правую ногу она ступаетъ. Когда четвероногое животное стоитъ на ногахъ, то центръ тяжести его тѣла падаетъ внутри четвероугольника, образуемаго основаніемъ ногъ, опирающихся на землю. Эта ширина основанія служитъ причиною, почему четвероногія

животныя отдыхаютъ и даже спятъ стоя. Отвѣсная линія, опущенная изъ центра тяжести, вообще падаетъ у этихъ животныхъ не въ самую средину основанія, но ближе къ головѣ. Поэтому переднія ноги выносятъ большую часть тяжести. При движеніи они перемѣщаютъ ноги различнымъ образомъ, смотря потому, совершаются ли эти движенія шагомъ, рысью, галопомъ или карьеромъ. При движеніи шагомъ поднимается и подвигается впередъ сперва одна напримѣръ правая задняя нога, потомъ лѣвая передняя, тамъ лѣвая задняя и наконецъ правая передняя. При ускоренномъ шагѣ животное часто поднимаетъ переднюю ногу прежде, нежели задняя коснется до земли. Вслѣдствіе того тѣло животнаго покоится попеременно, то на треугольномъ, то на четвероугольномъ основаніи и поэтому находится въ устойчивомъ равновѣсіи. Съ поднятіемъ и передвиженіемъ одной ноги впередъ, центръ тяжести животнаго передвигается также нѣсколько впередъ, а вмѣстѣ съ нимъ и самое тѣло, чрезъ что покоющаяся на землѣ нога принимаетъ нѣсколько наклонное положеніе относительно тѣла; выдвинутая же нога одна стоитъ прямо. Ясно, что съ повтореніемъ этого всѣми ногами, тѣло животнаго передвинется на извѣстное разстояніе впередъ. На рыси поднимается правая передняя и лѣвая задняя, а потомъ лѣвая передняя и правая задняя; но обѣ поднятыя ноги опускаются на землю въ то мгновеніе, когда выдвигаются двѣ другія ноги; поэтому есть мгновеніе, въ которое животное бываетъ совершенно на воздухѣ. На галопѣ животное опирается на одну, напримѣръ лѣвую ногу, и поднимаетъ всѣ три остальныя ноги; потомъ ставитъ на землю правую заднюю и лѣвую переднюю и наконецъ правую переднюю. Продолжая такимъ образомъ перемѣщать ноги, животное остается извѣстное время на одной ногѣ и потому принимаетъ косвенное положеніе тѣла. Одновременное опущеніе двухъ ногъ на землю, производитъ гораздо сильнѣйшій ударъ, противъ опусканія одной ноги; вотъ почему при галопированіи мы обыкновенно слышимъ однообразный и мѣрный стукъ. На карьерѣ лошадь поднимаетъ одновременно обѣ ноги съ одной стороны и поэтому извѣстное время тѣло ея должно покоиться на двухъ остальныхъ ногахъ. Вотъ почему лошадь, двигающаяся карьеромъ, принимаетъ волнообразное движеніе. При прыжкахъ лошадь опирается одновременно всѣми четырьмя ногами на землю и потомъ поднимаетъ ихъ разомъ въ высоту и впередъ.

§ 117. *Третій вопросъ составляетъ опредѣленіе величины равнодѣйствующей притяженія земли на каждое тѣло.* Опредѣленіе вѣса тѣлъ.

На основаніи составленнаго нами понятія о тяжести, мы допустили, что земля оказываетъ притяженіе на каждую матеріяльную частицу всякаго тѣла. Слѣдовательно, если бы мы знали величину притяженія земли на каждую частицу тѣла и число заключающихся въ въ немъ частицъ, то, для полученія полнаго дѣйствія тяжести на тѣло, намъ стоило бы только помножить величину притяженія земли на число частицъ (§ 16).

И въ самомъ дѣлѣ, если g есть напряженіе тяжести на тѣло, состоящее изъ трехъ частицъ a, b и c, то общее дѣйствіе притяженія земли будетъ въ настоящемъ случаѣ: $ag+bg+cg$ или $g(a+b+c)$.

Поэтому, если бы на какомъ нибудь мѣстѣ земли, гдѣ напряженіе тяжести остается одно и тоже, мы желали бы знать, какое притяженіе оказываетъ земля на различныя тѣла, то стоило бы опредѣлить величину притяженія земли на этомъ мѣстѣ и количество матеріи или величину массы всякаго тѣла. Первое опредѣленіе, какъ мы увидимъ впослѣдствіи, можетъ быть выполнено посредствомъ



извѣстныхъ приборовъ, что же касается до втораго, то къ сожалѣнію при настоящемъ состояніи нашихъ свѣдѣній объ расположеніи атомовъ въ тѣлахъ, мы не въ состояніи произвести непосредственно подобнаго опредѣленія ни вычисленіемъ, ни опытомъ.

Значитъ, дѣйствуя этимъ путемъ, мы не могли бы разрѣшить вопроса. Поэтому намъ остается обратиться къ опыту, т. е. искать въ природѣ такого явленія, которое бы находилось въ прямой зависимости отъ массы тѣлъ. Явленіе это обнаруживается слѣдующимъ образомъ.

Какъ притягательная сила земли дѣйствуетъ *отдѣльно* на каждую матеріяльную точку тѣла, притягивая ее къ своему центру, то ясно, что всѣ онѣ вмѣстѣ производятъ на препятствія, непозволяющія имъ падать книзу, одинаковое *давленіе*, зависящее отъ величины притяженія земли. Это одинаковое давленіе всѣхъ частицъ тѣла, мы можемъ представить себѣ въ видѣ равныхъ силъ, которыя должны имѣть одну общую равнодѣйствующую. Точка приложенія этихъ равныхъ и параллельныхъ силъ будетъ очевидно центръ тяжести тѣла. Величина же равнодѣйствующей, выражающая совокупное давленіе всѣхъ частицъ тѣла, называется *абсолютнымъ* или *истиннымъ вѣсомъ* его.

Понятно, чѣмъ болѣе заключается въ тѣлѣ частицъ матеріи, т. е. чѣмъ болѣе его масса, тѣмъ и давленіе, производимое имъ на препятствія, должно быть значительнѣе: вотъ почему при удвоенной массѣ и вѣсъ долженъ быть удвоенной, и такъ далѣе.

На этомъ основаніи мы имѣемъ право заключить, что отношеніе между вѣсами тѣлъ должно быть одинаково съ отношеніемъ между массами ихъ, или, какъ говорятъ въ физикѣ, *вѣса тѣлъ пропорціональны ихъ массамъ*.

И въ самомъ дѣлѣ, на основаніи изложеннаго нами выше, вѣсъ каждаго тѣла можетъ быть выраженъ уравненіемъ $P = Mg$, гдѣ M есть масса, а g — есть величина притяженія земли; если на томъ же самомъ мѣстѣ земли, при той же величинѣ притяженія g, мы возмемъ другую массу M', то вѣсъ ея P' выразится уравненіемъ $P' = M'g$. Сравнивая это уравненіе съ предыдущимъ, мы получимъ пропорцію: $P : P' = M : M'$, т. е. что вѣса пропорціональны массамъ.

Но чтобы судить о различіи давленій, обнаруживаемыхъ массами тѣлъ, намъ должно взять за *единицу* давленіе, производимое опредѣленнымъ объемомъ какого нибудь тѣла. Если давленіе какой нибудь массы въ двадцать разъ болѣе давленія, оказываемаго условно выбранной единицей, какъ напр. фунтомъ, то мы говоримъ, что тѣло вѣситъ 20 фунтовъ.

Опредѣленный такимъ образомъ вѣсъ, основанный на прямой зависимости давленія отъ массы, есть собственно вѣсъ тѣла *относительно* избранной нами единицы. Если бы мы сравнивали давленіе тѣла съ другой единицей, то очевидно, что вѣсъ его измѣнился бы, не взирая на то, что сравниваемое тѣло сохраняетъ одно и тоже количество матеріи. Опредѣленный этимъ способомъ вѣсъ, называемый

относительнымъ, не есть истинный вѣсъ тѣла, потому что при опредѣленіи его, мы не обращали вниманія на величину притяженія земли.

И въ самомъ дѣлѣ, зависимость вѣса отъ массы справедлива только для мѣстъ равно удаленныхъ отъ центра земли; только при этомъ условіи двѣ равныя массы могутъ имѣть одинаковый вѣсъ. Если мы возмемъ двѣ массы, изъ которыхъ одна находится на поверхности земной, а другая на высотѣ въ 1000 футовъ, гдѣ сила притяженія земли дѣйствуетъ слабѣе, то очевидно, что первая изъ нихъ, на основаніи Ньютоновыхъ законовъ притяженія, будетъ притягиваться землею сильнѣе противу второй, а потому и самый вѣсъ этихъ равныхъ массъ будетъ уже различенъ.

Этого различія мы не можемъ замѣтить при опредѣленіи вѣса посредствомъ одного сравненія давленій, оказываемыхъ тѣломъ и избранной единицей. Какъ давленія эти пропорціональны массамъ для каждаго мѣста земли, то очевидно, что кусокъ желѣза, оказывающій равное давленіе съ фунтовой гирей у поверхности моря, напр. въ Петербургѣ, будетъ обнаруживать тоже явленіе и на вершинѣ самой высокой горы Кавказскаго хребта, хотя напряженіе тяжести на послѣдней менѣе, нежели въ Петербургѣ. Очевидно, что оба эти тѣла одинаково выигрываютъ и теряютъ въ вѣсѣ вмѣстѣ съ увеличеніемъ и уменьшеніемъ напряженія тяжести.

Но что это различіе вѣса, основанное на различіи притяженій земли, существуетъ на самомъ дѣлѣ, мы можемъ убѣдиться изъ прибора, извѣстнаго подъ названіемъ *ресорныхъ вѣсовъ* (фиг. 285). Онъ состоитъ изъ пустаго цилиндра, внутри котораго находится свернутая спиралью стальная пружина. По направленію оси цилиндра проходитъ стержень, о нижній конецъ котораго опирается пружина; къ верхнему концу стержня придѣлано кольцо, служащее для привѣшиванія цилиндра. Если повѣсить фунтовую гирю, или кусокъ какого нибудь тѣла, давленіе которой соотвѣтствуетъ давленію фунтовой гири на крючекъ, укрѣпленный къ нижней части цилиндра, то притяженіе земли на привѣшенное тѣло, противодѣйствуя упругости пружины, заставитъ ее вытянуться на извѣстное число дѣленій, проведенныхъ заранѣе на стержнѣ. Если привѣсить тѣже самыя тѣла къ цилиндру, помѣщенному на вершинѣ горы, то найдемъ, что пружина вытянется на меньшее число дѣленій противу того, которое она показывала для тѣхъ же тѣлъ у поверхности моря, что и должно было ожидать, потому что сила притяженія уменьшается съ удаленіемъ отъ поверхности земли, тогда какъ сила упругости остается неизмѣнною.

Фиг. 285.

Подобнаго устройства приборъ могъ бы служить для опредѣленія абсолютнаго вѣса, но какъ показанія этого прибора только приблизительно вѣрны, потому что намъ не извѣстны еще законы, по которымъ происходитъ измѣненіе упругости отъ вліянія температуры, и какъ обыкновенно встрѣчается надобность въ опредѣленіи вѣса

тѣлъ только на одномъ мѣстѣ земли или на мѣстахъ, удаленіе которыхъ отъ поверхности моря не обнаруживаетъ чувствительныхъ измѣненій въ силѣ притяженія земли, то обыкновенно довольствуются относительнымъ опредѣленіемъ вѣса.

Самое опредѣленіе вѣса *относительно* какой нибудь избранной единицы производится на слѣдующемъ основаніи. Давленія, производимыя двумя тѣлами, непозволяющими имъ приближаться къ центру земли, на основаніи сказаннаго нами, мы можемъ представить себѣ въ видѣ двухъ параллельныхъ равнодѣйствующихъ силъ, направленныхъ къ землѣ и приложенныхъ къ центрамъ тяжести сравниваемыхъ тѣлъ.

Фиг. 286.

Чтобы судить о равенствѣ этихъ равнодѣйствующихъ силъ, намъ стоитъ только приложить ихъ къ концамъ равноплечаго рычага (фиг. 286), подпертаго посрединѣ. Если силы, дѣйствующія на конечности такого рычага, равны, то рычагъ будетъ находиться въ равновѣсіи, потому что въ этомъ случаѣ статическіе моменты силъ, т. е. произведенія изъ силъ на прилежащія плеча, будутъ одинаковы.

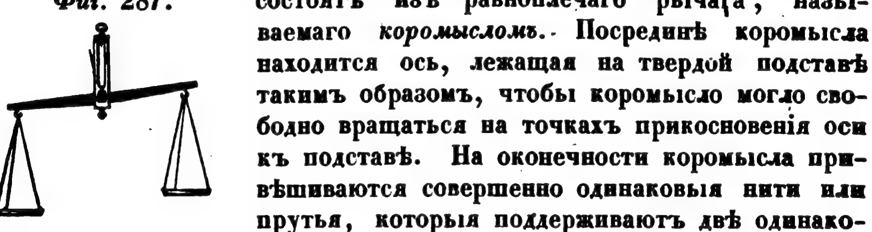
Слѣдовательно, желая знать, какое количество извѣстнаго тѣла давитъ на препятствіе, непозволяющее ему приближаться къ землѣ одинаковымъ образомъ съ массою, принятою за единицу, намъ должно привязать къ одной оконечности равноплечаго рычага единицу массы и потомъ привѣшивать къ оконечности другаго плеча извѣстныя количества опредѣляемой массы до тѣхъ поръ, пока не возстановится равновѣсіе рычага.

На этомъ основано устройство большей части инструментовъ, употребляемыхъ какъ при ученыхъ изслѣдованіяхъ, такъ и въ общежитіи для сравненія давленій, производимыхъ массами тѣлъ, находящихся въ равномъ удаленіи отъ центра земли. Подобное сравненіе давленій называется *взвѣшиваніемъ*, а рычагъ, приспособленный къ этому сравненію, именуется *обыкновенными вѣсами*.

Обыкновенные вѣсы.

§ 118. *Обыкновенные вѣсы* (фиг. 287), употребляемые въ торговлѣ, состоятъ изъ равноплечаго рычага, называемаго *коромысломъ*. Посрединѣ коромысла находится ось, лежащая на твердой подставѣ такимъ образомъ, чтобы коромысло могло свободно вращаться на точкахъ прикосновенія оси къ подставѣ. На оконечности коромысла привѣшиваются совершенно одинаковыя нити или прутья, которыя поддерживаютъ двѣ одинаковыя чашки, назначенныя для помѣщенія взвѣшиваемыхъ тѣлъ. Къ срединѣ коромысла противу точки его опоры придѣлывается наглухо отвѣсная стрѣлка. Стрѣлка эта при горизонтальности коромысла, приходится противу средины вертикальнаго прорѣза, нижнія части котораго составляютъ подставу для оси. Если на одну изъ

Фиг. 287.



чашекъ вѣсовъ положить какое нибудь тѣло, а на другую прикладывать тѣла, давленіе которыхъ принято за единицу, то по положенію стрѣлки относительно прорѣза, мы можемъ судить объ отношеніи давленій тѣлъ, обременяющихъ коромысло. Когда стрѣлка находится противу самой средины прорѣза, то значитъ, что давленія, дѣйствующія на концы коромысла равны между собою. Ясно, что при этомъ число положенныхъ гирь опредѣлитъ намъ массу, а слѣдовательно и вѣсъ тѣла, сравниваемаго съ ними.

Вѣсы, основанные на равновѣсіи равноплечаго коромысла, играютъ важную роль при ученыхъ изслѣдованіяхъ, въ особенности при химическихъ опытахъ, гдѣ требуется часто знать самыя малыя разности вѣса. Мы покажемъ здѣсь, какія условія необходимы для того, чтобы вѣсы могли удовлетворять этой цѣли.

Чтобы упростить наше разсужденіе положимъ, что грузы привѣшены непосредственно къ самому коромыслу. Если оба груза, дѣйствующіе по отвѣсному направленію на коромысло, равны, то очевидно, что направленіе равнодѣйствующей ихъ будетъ находиться въ той же плоскости, а точка приложенія ея совпадетъ со срединою линіи, соединяющей точки привѣса груза.

Для удержанія въ равновѣсіи этой равнодѣйствующей достаточно помѣстить по направленію ея точку опоры; слѣдовательно, для равновѣсія грузовъ, дѣйствующихъ на концы коромысла, необходимо, чтобы отвѣсная линія, проходящая чрезъ точку его опоры, служащею вмѣстѣ съ тѣмъ и точкою вращенія коромысла или осью его, дѣлила пополамъ линію, соединяющую точки привѣса грузовъ. Умственная линія, соединяющая ось съ точками приложенія грузовъ и составляетъ собственно равноплечій математическій рычагъ, служащій главнымъ основаніемъ вѣсовъ. Первое условіе для равновѣсія равноплечаго рычага, какъ мы уже знаемъ, заключается въ равенствѣ статическихъ моментовъ, дѣйствующихъ на него силъ.

Положимъ, что точка опоры коромысла совпадаетъ съ точкою приложенія равнодѣйствующей грузовъ. — Понятно, что при этомъ положеніи точка опоры при вращеніи коромысла будетъ сохранять одно и тоже положеніе относительно точекъ привѣса грузовъ; слѣдовательно, при каждомъ положеніи коромысла статическіе моменты грузовъ или произведенія изъ грузовъ на перпендикуляры, проведенные отъ точки опоры къ отвѣснымъ направленіямъ грузовъ, будутъ равны между собою. — Во все время вращенія коромысла равнодѣйствующая равныхъ грузовъ не будетъ сходить съ отвѣсной линіи, проходящей чрезъ точку опоры.

Поэтому обращая вниманіе въ коромыслѣ только на линію, соединяющую точки приложенія грузовъ, мы вправѣ сказать, что линія эта должна сохранять равновѣсіе не только при горизонтальномъ, но и при каждомъ положеніи коромысла.



Если бы линія ab, соединяющая точки привѣса грузовъ, прикасалась къ плоскости опоры не одною, а нѣсколькими точками (фиг. 288), то очевидно, что вращеніе ея можетъ совершаться только на одной точкѣ. Положимъ, что линія эта вращаясь на точкѣ c, приметъ положеніе $a'b'$; ясно, что при этомъ измѣненіи въ ея положеніи нарушится равенство статическихъ моментовъ.

Фиг. 288.

Слѣдовательно для математическаго равенства моментовъ необходимо, чтобы эта линія прикасаласѣ только одною точкою къ плоскости опоры. Что мы сказали о линіи, соединяющей точки приложенія грузовъ, то должно отнести очевидно и къ самому коромыслу, потому что всегда придемъ къ тому же результату, если представимъ себѣ разрѣзъ коромысла по направленію этой линіи.

Понятно, что при выведенномъ нами условіи точка, которою опирается коромысло, должна будетъ одна выносить все давленіе грузовъ, обременяющихъ его. Непосредственнымъ слѣдствіемъ подобнаго давленія было бы стираніе точки опоры, а слѣдовательно и постепенное увеличеніе точекъ прикосновенія между коромысломъ и плоскостію опоры. Поэтому мы должны распредѣлить давленіе грузовъ на рядъ точекъ такимъ образомъ, чтобы это распредѣленіе не нарушало точнаго равенства плечъ рычага. Съ этого цѣлію придѣлываютъ къ коромыслу ось (фиг. 289), имѣющую форму трехсторонней призмы и обращаютъ эту ось острымъ ребромъ къ плоскости, служащей опорою коромысла. Такой формы ось весьма часто называютъ *ножемъ*. Чтобы равнодѣйствующая всѣхъ распредѣленныхъ такимъ образомъ давленій проходила чрезъ линію, соединяющую точки привѣса грузовъ, необходимо провести ось по обѣ стороны на равномъ удаленіи отъ этой линіи; а для того, чтобы коромысло имѣло возможность производить свои вращенія въ отвѣсной плоскости, проходящей чрезъ направленіе равнодѣйствующей грузовъ, обѣ части оси должны быть совершенно горизонтальны; т. е. отвѣсны какъ къ плоскости вертикальнаго разрѣза коромысла, такъ и къ той отвѣсной линіи, относительно которой мы опредѣляемъ горизонтальность его. По направленію этой отвѣсной линіи въ вѣсахъ, употребляемыхъ для точныхъ взвѣшиваній, устраиваютъ отвѣсную колонну, на которой покоится коромысло.

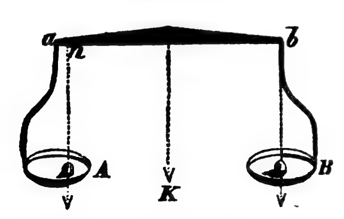
Фиг. 289.

На основаніи показаннаго нами расположенія оси коромысла, мы должны разумѣть подъ точкою опоры собственно пересѣченіе нижняго ребра оси съ срединою линіи, соединяющей точки привѣса грузовъ. Но какъ при указанномъ нами расположеніи оси отъ давленія грузовъ можетъ происходить стираніе линіи, служащей основаніемъ оси и ось можетъ чрезъ то измѣнять свое положеніе относительно точекъ привѣса грузовъ, то нарочно закругляютъ нѣсколько остріе призмы, наблюдая впрочемъ, чтобы это закругленіе, способствую-

щее также удобнѣйшему вращенію, не превосходило извѣстнаго предѣла, могущаго имѣть чувствительное вліяніе на равенство плечъ коромысла. До сихъ поръ мы предполагали, что грузы прикрѣплены непосредственно къ двумъ неизмѣннымъ точкамъ коромысла, лежащимъ въ равномъ разстояніи отъ точки вращенія. Подобный способъ прикрѣпленія представлялъ бы неудобства при практическомъ употребленіи коромысла, а потому при взвѣшиваніи кладутъ сравниваемыя тѣла на совершенно равныя чаши, соединенныя съ оконечностями коромысла посредствомъ одинаковыхъ прутьевъ. Разсмотримъ сперва тотъ случай, когда прутья были бы прикрѣплены на глухо къ коромыслу.

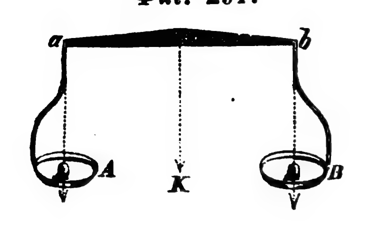
Если одинъ изъ грузовъ *B* (фиг. 290) лежитъ противу точки привѣса чашъ, а другой *A* нѣсколько въ сторонѣ отъ соотвѣтственной точки привѣса, то коромысло, невзирая на равенство плечъ и обременяющихъ его грузовъ, не можетъ находиться въ равновѣсіи, потому что перпендикуляры *ac* и *cb*, опущенные изъ точекъ вращенія на отвѣсныя направленія грузовъ *An* и *Bb*, а слѣдовательно и моменты этихъ одинаковыхъ грузовъ не равны между собою.

Фиг. 290.

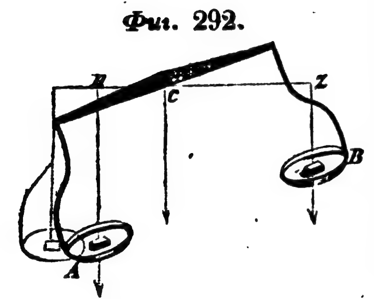


Для уничтоженія этого неудобства необходимо расположить грузъ *A* (фиг. 291) отвѣсно подъ точкою привѣса, такъ чтобы *ac* и *bc* были равны. Но и въ этомъ случаѣ моменты обременяющихъ коромысло грузовъ будутъ равны только при горизонтальномъ его положеніи. И въ самомъ дѣлѣ, выведя коромысло (фиг. 292) изъ горизонтальнаго направленія и проводя изъ точки вращенія перпендикуляры на отвѣсныя линіи, означающія направленія грузовъ, мы увидимъ, что перпендикуляры эти, а слѣдовательно и моменты самыхъ грузовъ, не будутъ равны между собою. Чтобы сдѣлать эти моменты равными, достаточно только доставить возможность грузамъ, при наклонномъ положеніи коромысла, расположиться отвѣсно противу тѣхъ точекъ его, на которыя они дѣйствуютъ посредствомъ прутьевъ, т. е. для этого нужно, чтобы прутья могли свободно вращаться на точкахъ своего соединенія съ коромысломъ. Чѣмъ свободнѣе будетъ это вращеніе, тѣмъ очевидно легче будетъ происходить отвѣсное совпаденіе грузовъ съ точками ихъ

Фиг. 291.



Фиг. 292.

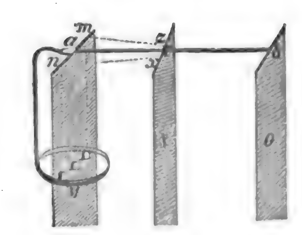


привѣса. Слѣдовательно необходимо, чтобы соединеніе коромысла съ прутьями, поддерживающими чаши, происходило посредствомъ вращенія. При достиженіи этой цѣли, грузы должны быть привѣшиваемы такимъ образомъ къ коромыслу, чтобы при всѣхъ возможныхъ положеніяхъ его, отвѣсныя направленія грузовъ могли постоянно приходиться противу однихъ и тѣхъ же мѣстъ, равно удаленныхъ отъ оси коромысла. Какимъ образомъ достигаютъ этого условія на практикѣ, мы опишемъ впослѣдствіи при подробномъ разсмотрѣніи вѣсовъ, употребляемыхъ для точныхъ взвѣшиваній.

Примѣняя къ точкамъ вращенія чашъ, условія показанныя нами для расположенія оси коромысла, мы увидимъ необходимость распредѣлить также давленіе грузовъ чашъ на точкахъ ихъ привѣса. Весьма часто распредѣляютъ это давленіе на рядъ точекъ, служащій ребромъ трехсторонней призмѣ, т. е. устраиваютъ оси вращенія грузовъ точно также, какъ ось вращенія коромысла. Если призмы, на которыхъ висятъ чаши не параллельны оси коромысла, то моменты равныхъ грузовъ могутъ быть равны только въ томъ случаѣ, когда грузы расположены на чашахъ отвѣсно подъ пересѣченіемъ призмъ съ линіею соединяющею точки привѣса.

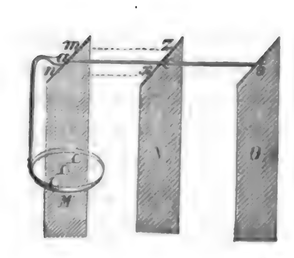
Положимъ теперь, что два груза (фиг. 293) расположены въ различныхъ удаленіяхъ отъ центра чаши, проходящаго отвѣсно подъ точкою пересѣченія призмы съ линіею соединяющею точки привѣса грузовъ. Какъ чаши вращаются на остріяхъ призмы, то очевидно, что грузы эти будутъ подведены подъ отвѣсную плоскость, проходящую чрезъ острія призмъ, и отвѣсныя направленія грузовъ будутъ приходиться противу двухъ различныхъ точекъ острія. Если отвѣсныя плоскости, проходящія чрезъ острія боковыхъ призмъ не параллельны къ отвѣсной плоскости, проходящей чрезъ ось вращенія коромысла, то очевидно, что разстоянія точекъ дѣйствія грузовъ на острія не будутъ находиться въ равномъ удаленіи отъ послѣдней плоскости; тогда какъ при параллельности этихъ трехъ плоскостей (фиг. 294), всѣ перпендикуляры опущенные изъ точекъ отвѣснаго дѣйствія грузовъ на отвѣсную плоскость, проходящую чрезъ ось коромысла, будутъ равны между собою. Слѣдовательно, чтобы сдѣлать моменты грузовъ независимыми отъ положенія ихъ на чашахъ, необходимо расположить оси вращенія грузовъ параллельно оси вращенія коромысла.

Фиг. 293.





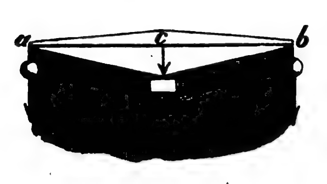
Фиг. 294.



Изъ сдѣланнаго нами разсмотрѣнія способовъ привѣса грузовъ слѣдуетъ, что точки привѣса грузовъ и точка вращенія коромысла,

должны всегда находиться въ одной отвѣсной плоскости (фиг. 295), въ которой происходитъ вращеніе коромысла. При этомъ понятно, что условія, выведенныя нами для коромысла, нисколько неизмѣняются отъ прибавленія къ каждому плечу его совершенно одинаковыхъ чашъ, потому что мы можемъ замѣнить давленія ихъ на концы коромысла, двумя равнодѣйствующими уничтожающимися въ точкахъ привѣса чашекъ. Слѣдовательно на чашки мы можемъ смотрѣть, какъ на неразлучную часть коромысла.

Фиг. 295.



Во всѣхъ разобранныхъ нами выше случаяхъ мы смотрѣли на коромысло, какъ на математическій равноплечій рычагъ.

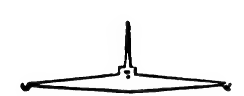
Само собою понятно, что для практическаго употребленія, рычагъ этотъ не можетъ быть математическою линіею, а долженъ состоять изъ такого сцѣпленія матеріяльныхъ точекъ, которое въ состояніи бы было дѣйствительно поддерживать связь между точкою опоры и оконечностями коромысла, на которыя дѣйствуютъ грузы. Подобное сцѣпленіе матеріяльныхъ точекъ ведетъ за собою непремѣнное существованіе центра тяжести.

Слѣдовательно равенство плечъ коромысла составляетъ необходимое условіе для его равновѣсія только тогда, когда центръ тяжести коромысла находится на одной отвѣсной линіи съ точкою привѣса. Если бы центръ тяжести находился въ сторонѣ отъ этой линіи, то ясно, что коромысло, невзирая на неравенство плечъ, будетъ оказывать перевѣсъ въ ту сторону, въ которой находится центръ тяжести.

Это положеніе центра тяжести въ отвѣсной плоскости, проходящей чрезъ точку вращенія, а слѣдовательно и чрезъ точки привѣса грузовъ, позволяетъ намъ, при разсмотрѣніи взаимнаго отношенія между этими точками, брать во вниманіе одинъ разрѣзъ коромысла, въ отвѣсной плоскости, проходящей чрезъ точку вращенія.

Чтобы найти на практикѣ положеніе центра тяжести въ небольшихъ ручныхъ вѣсахъ (фиг. 296), употребляемыхъ иногда въ общежитіи и при обыкновенныхъ химическихъ работахъ, поступаютъ слѣдующимъ образомъ: уравновѣшиваютъ коромысло съ укрѣпленнымъ на немъ указателемъ, широкою стороною на острiѣ вязальной иглы, до тѣхъ поръ, пока оно не установится; точка, противу которой придется игла, укажетъ намъ мѣсто расположенія центра тяжести внутри рычага.

Фиг. 296.



Выполненіе двухъ приведенныхъ нами условій, т. е. равенства плечъ и расположенія центра тяжести и точки опоры въ одной отвѣсной линіи, позволяетъ вѣсамъ показывать *точно* равенство давленій двухъ сравниваемыхъ тѣлъ. Если вѣсы удовлетворяютъ этимъ условіямъ, то говорятъ, что они *вѣрны*.

На практикѣ для испытанія вѣрности вѣсовъ, ставятъ ихъ на совершенно горизонтальную плоскость и смотрятъ по положенію стрѣлки, сохраняетъ ли коромысло горизонтальность. Но этого еще недостаточно, потому что и при неравенствѣ плечъ коромысло можетъ сохранять горизонтальность, если только центръ тяжести находится на сторонѣ короткаго плеча. Чтобы удостовѣриться, не погрѣшаютъ ли вѣсы въ этомъ отношеніи, — кладутъ какое нибудь тѣло на одну изъ чашекъ вѣсовъ и уравновѣшиваютъ его единицами вѣса на другой чашкѣ; послѣ того перекладываютъ тѣло и единицы вѣса съ одной чашки на другую, и если послѣ этого перекладыванія коромысло сохраняетъ равновѣсіе, то значитъ, что вѣсы вѣрны.

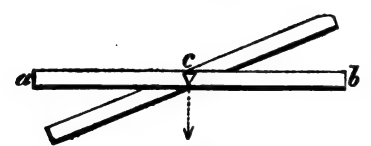
Но какъ раздѣленіе коромысла на двѣ совершенно равныя части бываетъ весьма затруднительно на практикѣ и какъ чрезвычайно трудно найти вѣсы, *въ точности* удовлетворяющія этому условію, то по крайней мѣрѣ должно знать, какъ велика ошибка въ самомъ раздѣленіи коромысла. Во многихъ случаяхъ должно довольствоваться тѣмъ, чтобы по перемѣщеніи чашъ, равновѣсіе возстановлялось послѣ приложенія $^1/_{1000}$ части опредѣляемаго вѣса. Въ этомъ случаѣ ошибка, происходящая отъ неравенства плечъ, не превышаетъ $^1/_{1000}$ части вѣса. Впрочемъ весьма легко опредѣлить точность раздѣленія коромысла до $^1/_{10000}$ части вѣса.

Чтобы сдѣлать взвѣшиваніе совершенно независимымъ отъ неравенства плечъ, употребляютъ способъ *двойнаго взвѣшиванія*, показанный Французскимъ физикомъ Бордою. Двойное взвѣшиваніе производятъ слѣдующимъ образомъ: помѣщаютъ на одну чашку испытуемое тѣло, а на другую кладутъ различныя небольшія тѣла до тѣхъ поръ, пока стрѣлка не приметъ совершенно отвѣснаго положенія. Послѣ того снимаютъ тѣло съ первой чаши и кладутъ вмѣсто него столько гирь, сколько нужно для новаго равновѣсія коромысла. Это послѣднее количество гирь и покажетъ намъ искомый вѣсъ тѣла, потому что оно, подобно взвѣшиваемому тѣлу, поддерживаетъ въ совершенномъ равновѣсіи равный ему грузъ на другой чашкѣ. Для знакомыхъ съ математикой это покажется еще болѣе очевиднымъ, когда они припомнятъ себѣ извѣстную аксіому: *двѣ величины равныя третьей, равны между собою.*

Но при расположеніи центра тяжести коромысла на одной отвѣсной линіи съ осью вращенія, можетъ встрѣтиться три случая. Во-первыхъ: *обѣ эти точки могутъ совпадать одна съ другою.*

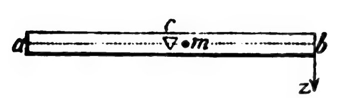
Если ось совпадаетъ съ центромъ тяжести (фиг. 297), то въ какое бы положеніе мы не привели коромысло (въ горизонтальное или наклонное), оно будетъ постоянно сохранять равновѣсіе, потому что при каждомъ положеніи коромысла, центръ тяжести его будетъ находиться на отвѣсной линіи, проходящей чрезъ точку вращенія. Если же къ одному

Фиг. 297.



изъ плечъ коромысла, напр. къ правому (фиг. 298), будетъ привѣшенъ малѣйшій грузъ, то очевидно, что центръ тяжести не будетъ уже находиться на одной отвѣсной линіи съ точкою привѣса, а подвинется вправо отъ ней по линіи *ab* и займетъ какое либо мѣсто въ точкѣ *m*. Какъ въ этомъ случаѣ стремленіе центра тяжести къ землѣ, не будетъ уничтожаться сопротивленіемъ точки привѣса, если эта точка не будетъ представлять значительнаго тренія, то очевидно, что онъ будетъ опускаться къ землѣ до тѣхъ поръ, пока не достигнетъ отвѣсной линіи, проходящей чрезъ точку привѣса. При этомъ онъ увлечетъ за собою коромысло и приведетъ его изъ горизонтальнаго въ отвѣсное положеніе (фиг. 299). А мы знаемъ, что состояніе равновѣсія опредѣляется только горизонтальнымъ положеніемъ коромысла. Слѣдовательно, допущенное нами совпаденіе центра тяжести съ точкою вращенія должно быть избѣгаемо при дѣланіи вѣсовъ.

Фиг. 298.



Фиг. 299.

Разсмотримъ второй случай, *если ось находится подъ центромъ тяжести* (фиг. 300). Хотя въ этомъ случаѣ вѣсы будутъ сохранять равновѣсіе при горизонтальномъ положеніи коромысла, но это положеніе будетъ самое неустойчивое, потому что при малѣйшемъ толчкѣ, или при незначительномъ грузѣ, положенномъ на одну чашку, центръ тяжести тотчасъ сойдетъ съ отвѣсной линіи и будетъ опускаться къ землѣ до тѣхъ поръ, пока не займетъ самаго низкаго положенія на отвѣсной линіи, проходящей чрезъ точку вращенія. При этомъ движеніи центра тяжести, очевидно, коромысло будетъ опрокинуто; чего конечно нельзя допустить при практическомъ употребленіи вѣсовъ.

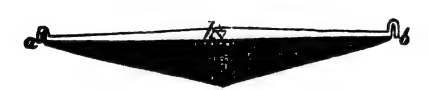
Фиг. 300.



Разберемъ теперь третій случай, *когда центръ тяжести находится подъ осью вращенія.*

Положимъ, что *ab* (фиг. 301) представляетъ прямую линію, соединяющую точки привѣса чашъ, и что по срединѣ этой линіи находится ось вращенія коромысла *k*, центръ тяжести котораго лежитъ въ *c*. Выводя коромысло изъ горизонтальнаго положенія, мы отклонимъ въ тоже время центръ тяжести отъ отвѣсной линіи. Ясно, что когда коромысло будетъ предоставлено самому себѣ, то центръ тяжести устремится къ занятію прежняго мѣста на отвѣсной линіи, совпадающей съ точкою вращенія. Достигнувъ этой линіи, центръ тяжести будетъ стремиться по инерціи къ продолженію начатаго имъ движенія, перейдетъ отвѣсную линію, поднимется до извѣстной высоты и потомъ побуждаемый тяжестію

Фиг. 301.

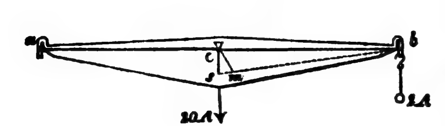


снова опустится книзу. Понятно, что центръ тяжести продолжалъ бы постоянно двигаться такимъ образомъ по обѣ стороны отвѣсной линіи, если бы треніе на оси вращенія и сопротивленіе воздуха не уменьшали постепенно дугъ его движенія и не заставили его наконецъ остановиться на отвѣсной линіи. Слѣдуя за этими движеніями центра тяжести, коромысло будетъ производить колебанія на точкѣ вращенія до тѣхъ поръ, пока не придетъ окончательно въ горизонтальное положеніе. Ясно, что положеніе это коромысло будетъ сохранять во все время нахожденія центра тяжести на одной отвѣсной линіи съ точкою вращенія.

При взвѣшиваніи весьма важно, чтобы коромысло сохраняло *устойчивость*, не только при равномъ дѣйствіи плечъ на точку вращенія, но при болѣе или менѣе значительныхъ разностяхъ между этими дѣйствіями.

Положимъ, что къ одному изъ концовъ коромысла, которое вѣситъ 20 лотовъ, привѣшенъ небольшой грузъ, напримѣръ въ 2 лота (фиг. 302), ясно, что на точку вращенія *c* коромысла дѣйствуютъ

Фиг. 302.



теперь двѣ параллельныя силы: одна 20 лотовъ, приложенная къ центру тяжести *s*, а другая 2 лота, приложенная къ *b*. Какъ обѣ эти точки представляютъ собою центры тяжести грузовъ, обременяющихъ ось вращенія, то общій центръ тяжести грузовъ, висящихъ на оси вращенія, будетъ находиться на линіи, соединяющей точки *b* и *s* въ какомъ либо мѣстѣ *m*. Какъ при горизонтальномъ положеніи коромысла точка *m*, представляющая общій центръ тяжести коромысла, не будетъ уже лежать отвѣсно подъ точкою вращенія *c*, то очевидно, что цѣлое коромысло будетъ вращаться на оси до тѣхъ поръ, пока не исполнится это условіе. И въ самомъ дѣлѣ, послѣ нѣсколькихъ качаній общій центръ тяжести долженъ будетъ установиться подъ точкою *c*. При этомъ очевидно плечо *ac* поднимется, а плечо *bc* опустится на столько, на сколько опустится линія *cm*, соединяющая ось *c* съ точкою *m*.

Уголъ, образуемый въ этомъ случаѣ коромысломъ съ горизонтальнымъ своимъ положеніемъ во время его равновѣсія, мы будемъ называть *угломъ отклоненія*. Изъ предъидущаго ясно, что этотъ уголъ равенъ *mcs*.

Изъ разсмотренныхъ нами трехъ случаевъ расположенія центра тяжести относительно оси вращенія слѣдуетъ, что для практическаго употребленія вѣсовъ центръ тяжести коромысла долженъ находиться *подъ точкою вращенія*. Только при подобномъ устройствѣ вѣсы могутъ сохранять *устойчивость*, составляющую одно изъ важнѣйшихъ условій при обыкновенномъ взвѣшиваніи. Припомнивъ условія устойчиваго равновѣсія, не трудно понять, что вѣсы будутъ тѣмъ устойчивѣе, чѣмъ ниже лежитъ центръ тяжести подъ точкою вращенія.

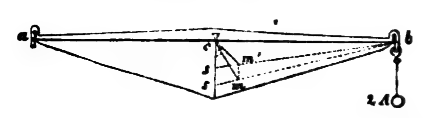
Но при ученыхъ изслѣдованіяхъ недостаточно одной устойчивости, а необходимо также, чтобы вѣсы имѣли свойство обнаруживать какъ можно болѣе самыя малыя разности между давленіями, дѣйствующими на ось вращенія коромысла, т. е. чтобы уголъ отклоненія коромысла давалъ возможность судить о самой незначительной разности между этими давленіями. Такое свойство вѣсовъ называется *чувствительностію*. Чувствительность.

Какъ ось вращенія коромысла должна покоиться на твердомъ тѣлѣ, доставляющемъ ей опору, то очевидно, что вращеніе коромысла будетъ тѣмъ свободнѣе, чѣмъ незначительнѣе *треніе*, обнаруживаемое при этомъ вращеніи. Для достиженія этой цѣли дѣлаютъ ось вращенія коромысла изъ хорошей стали. Точно также употребляютъ сталь и для плоскости, на которой покоится ось; но гораздо лучше, если плоскость эта состоитъ изъ болѣе твердаго тѣла, какъ напримѣръ, агата.

Кромѣ тренія на чувствительность вѣсовъ имѣетъ вліяніе и самая величина разстоянія, между точкою вращенія и центромъ тяжести.

Положимъ, что при неизмѣнности прочихъ обстоятельствъ, центръ тяжести коромысла подвинутъ ближе къ точкѣ вращенія. Опредѣляя точно также, какъ и въ предъидущемъ случаѣ, положеніе точки m (фиг. 303), представляющей общій центръ тяжести коромысла и груза, привѣшеннаго къ точкѣ b, мы найдемъ, что при поднятіи s должна будетъ подвинуться вмѣстѣ съ нею отвѣсно кверху и точка m. Вслѣдствіе того точка m опишетъ очевидно бо́льшую дугу для достиженія своего до отвѣсной линіи, нежели въ томъ случаѣ, когда бы она была расположена ниже. А какъ отъ величины пройденной имъ дуги или отъ величины угла tcs зависитъ и уголъ отклоненія коромысла, то очевидно, что чувствительность вѣсовъ будетъ тѣмъ болѣе, *чѣмъ менѣе разстояніе между центромъ тяжести коромысла и точкою его вращенія.*

Фиг. 303.



Это показываетъ намъ, что чѣмъ болѣе вѣсы дѣлаются чувствительными, тѣмъ менѣе они дѣлаются устойчивыми, т. е. что чувствительность и устойчивость представляютъ два противоположныя свойства.

Здѣсь должно замѣтить, что при слишкомъ близкомъ расположеніи центра тяжести подъ осью вращенія, качанія коромысла дѣлаются весьма медленными. Причина этого основана на законахъ качанія маятника (см. ниже). Поэтому, желая уменьшеніемъ разстоянія между осью вращенія и центромъ тяжести доставить бо́льшую чувствительность коромыслу, мы будемъ терять много времени при взвѣшиваніи.

Вмѣстѣ съ расположеніемъ центра тяжести на чувствительность вѣсовъ имѣетъ вліяніе и *длина коромысла*. И въ самомъ дѣлѣ, если не измѣняя прочихъ обстоятельствъ, мы увеличимъ длину коромысла, то очевидно, что въ томъ же самомъ отношеніи увеличится

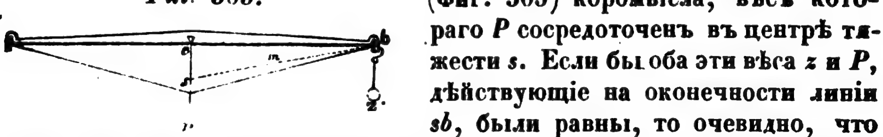
и величина разстоянія *sm* (фиг. 304); вслѣдствіе того точка *m* отодвинется далѣе отъ линіи *cs* по направленію параллельному къ *ab*. Поэтому линія *cm* дастъ уже бóльшій уголъ съ *cs*, и точка *m* опишетъ бóльшую дугу противу того случая, когда бы точка *b* оставалась на прежнемъ своемъ мѣстѣ. А мы уже знаемъ, что согласно увеличенію пути, описываемаго точкою *m* до достиженія отвѣсной линіи, долженъ увеличиваться и уголъ отклоненія коромысла.

Фиг. 304.

На чувствительность вѣсовъ имѣетъ вліяніе также и *вѣсъ коромысла*.

Положимъ, что небольшой грузъ *z* привѣшенъ къ оконечности *b* (фиг. 305) коромысла, вѣсъ котораго *P* сосредоточенъ въ центрѣ тяжести *s*. Если бы оба эти вѣса *z* и *P*, дѣйствующіе на оконечности линіи *sb*, были равны, то очевидно, что точка приложенія ихъ равнодѣйствующей или общій центръ тяжести *m* грузовъ, обременяющихъ ось вращенія коромысла, пришелся бы посрединѣ линіи *sb*. Но какъ эти вѣса не равны, то на основаніи законовъ статическихъ моментовъ, точка *m* будетъ тѣмъ ближе къ *b*, чѣмъ менѣе величина вѣса приложеннаго къ *s* относительно величины вѣса, обременяющаго точку *b*. А чѣмъ болѣе точка *m* приближается къ *b*, тѣмъ очевидно долженъ быть значительнѣе и самый уголъ отклоненія коромысла.

Фиг. 305.



Въ справедливости этого мы можемъ еще болѣе убѣдиться слѣдующимъ разсужденіемъ. Представимъ себѣ, что коромысло находится въ равновѣсіи. Положеніе это, какъ мы уже знаемъ, коромысло принимаетъ вслѣдствіе стремленія центра тяжести къ занятію самаго низкаго мѣста на отвѣсной линіи, проходящей чрезъ точку опоры. Если же привѣсить къ одному изъ концовъ коромысла небольшой грузъ, то очевидно, что онъ, противодѣйствуя вѣсу сосредоточенному въ центрѣ тяжести коромысла, будетъ стремиться приводить его въ наклонное положеніе. Чѣмъ большее дѣйствіе оказываетъ вѣсъ коромысла на центръ тяжести, сравнительно съ дѣйствіемъ небольшаго груза на оконечность коромысла, тѣмъ труднѣе привѣшенному грузу приводить коромысло въ наклонное положеніе.

Это показываетъ намъ, что *чувствительность* вѣсовъ будетъ *тѣмъ болѣе, чѣмъ легче вѣсъ коромысла*.

Какъ показаніе отклоненій коромысла отъ горизонтальнаго положенія, совершается посредствомъ прикрѣпленной къ нему иглы или *указателя*, то ясно, что качанія или дуги, описываемыя свободною оконечностію этого указателя, будутъ тѣмъ ощутительнѣе, чѣмъ значительнѣе длина указателя.

Понятно, что этотъ указатель можетъ быть обращенъ свободнымъ своимъ концомъ или книзу или кверху.

Зависимость чувств. отъ линіи, соединяющей точки привѣса грузовъ.

§ 119. Во всѣхъ разсмотрѣнныхъ нами случаяхъ мы предполагали, что только на одно плечо коромысла дѣйствуетъ грузъ, приводящій его въ наклонное положеніе. Какъ при взвѣшиваніи грузъ этотъ обыкновенно представляетъ собою разность грузовъ, обременяющихъ оба плеча коромысла, то и разсмотримъ, какое вліяніе оказываетъ величина грузовъ на равновѣсіе коромысла.

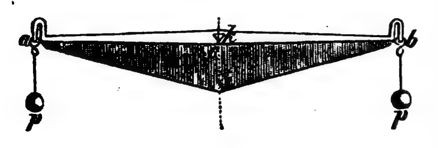
Положимъ, что коромысло подвержено параллельному дѣйствію двухъ равныхъ грузовъ. Понятно, что точка приложенія равнодѣйствующей ихъ будетъ находиться посрединѣ линіи, соединяющей точки приложенія грузовъ, т. е. будетъ находиться на отвѣсной линіи, проходящей чрезъ точку вращенія коромысла.

Но при этомъ могутъ встрѣтиться три случая: точка вращенія можетъ *совпадать* съ точкою приложенія равнодѣйствующей грузовъ, можетъ быть *ниже* и *выше* ея, или, говоря другими словами, линія, соединяющая точки привѣса грузовъ, можетъ проходить чрезъ точку вращенія, быть ниже и выше ея.

Разсмотримъ первый случай, когда линія, соединяющая точки привѣса грузовъ, совпадаетъ съ точкою вращенія коромысла.

Положимъ, что *ab* (фиг. 306) представляетъ линію, соединяющую точки привѣса грузовъ съ оконечностями коромысла, и что посрединѣ этой линіи въ точкѣ *c* находится ось вращенія коромысла, центръ тяжести котораго въ точкѣ *s*. Если къ *a* и *b* привѣшены равные грузы *p* и *p*, то мы можемъ представить себѣ, что одинъ изъ нихъ дѣйствуетъ на точку *a*, а другой на точку *b*.

Фиг. 306.



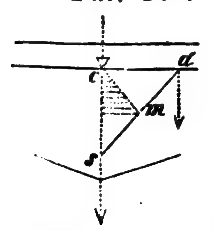
Слѣдовательно общій центръ тяжести, какъ коромысла, такъ и грузовъ, привѣшенныхъ къ оконечностямъ его, долженъ будетъ находиться на отвѣсной линіи, въ какой либо точкѣ между *c* и *s*. Если равнодѣйствующая грузовъ, приложенныхъ къ точкамъ *a* и *b*, равна вѣсу коромысла, приложенному къ точкѣ *c*, то общій центръ тяжести будетъ посрединѣ линіи *cs*. Точно также легко понять, чѣмъ болѣе будетъ равнодѣйствующая силъ, приложенныхъ къ *c* относительно силы, приложенной къ *s* или вѣсу коромысла, тѣмъ болѣе общій центръ тяжести будетъ приближаться къ точкѣ *c*.

Это показываетъ намъ, что *по мѣрѣ увеличенія грузовъ, общій центръ тяжести долженъ постепенно подниматься выше* по отвѣсной линіи, проходящей чрезъ ось вращенія.

Слѣдовательно при увеличеніи вѣса равныхъ грузовъ казалось бы, что чувствительность должна увеличиваться. Мы говоримъ — казалось, потому что въ этомъ случаѣ чувствительность вѣсовъ зависитъ отъ обстоятельства противодѣйствующаго ей.

Въ справедливости этого обстоятельства мы можемъ также убѣдиться слѣдующимъ разсужденіемъ. Чѣмъ выше поднимается центръ тяжести *s* (фиг. 307) коромысла, тѣмъ очевидно ближе будетъ подвигаться къ точкѣ *c* общій центръ тяжести *m* грузовъ и коромысла въ томъ случаѣ, если послѣднее приведено въ наклонное положеніе какимъ либо перевѣшивающимъ грузомъ. Но чѣмъ ближе центръ тяжести *m* подвигается къ *c*, тѣмъ болѣе уменьшается моментъ его относительно точки *c*, потому что вмѣстѣ съ приближеніемъ *m*, будутъ уменьшаться перпендикуляры, опущенные на отвѣсную линію *cs*.

Фиг. 307.



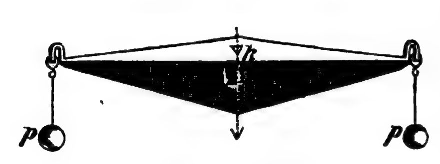
Всѣ равныя силы, дѣйствующія на концы коромысла, какъ мы уже говорили, сводятся въ одну равнодѣйствующую, точка приложенія которой находится посрединѣ линіи, соединяющей точки привѣса грузовъ, и какъ точка эта,

въ разсматриваемомъ нами случаѣ, совпадаетъ съ точкою вращенія коромысла и дѣйствуетъ непосредственно на точку опоры его, то очевидно, что вмѣстѣ съ прибавленіемъ грузовъ, должно увеличиваться треніе на точкѣ вращенія, потому что послѣднее увеличивается вмѣстѣ съ вѣсомъ тѣла вращающагося на опорѣ. А это показываетъ намъ, что при совпаденіи линіи, соединяющей точки привѣса грузовъ съ точкою опоры, *чувствительность не зависитъ отъ измѣненія вѣса грузовъ, обременяющихъ коромысло.*

Перейдемъ теперь къ разсмотрѣнію того случая, когда линія, соединяющая точки привѣса грузовъ, проходитъ ниже точки вращенія.

Если къ концамъ коромысла (фиг. 308) привѣшены равные грузы, то равнодѣйствующая ихъ, приложенная къ точкѣ *c*, будетъ стремиться приводить коромысло въ горизонтальное положеніе совокупно съ вѣсомъ послѣдняго, сосредоточеннымъ въ центрѣ тяжести его *s*. Какъ обѣ эти точки *c* и *s* лежатъ по одну сторону отъ точки привѣса, то незначительный грузъ, обременяющій одинъ изъ концовъ коромысла, очевидно будетъ противодѣйствовать общей равнодѣйствующей, точка приложенія которой находится въ общемъ центрѣ тяжести грузовъ и коромысла, гдѣ нибудь между точками *c* и *s*. Какъ общій центръ тяжести можетъ находиться только между этими точками, то ясно, что сколько бы мы не увеличивали вѣса грузовъ, никогда онъ неподнимется выше точки *c*. Вмѣстѣ съ тѣмъ понятно, чѣмъ болѣе мы будемъ прибавлять грузовъ, тѣмъ труднѣе незначительному грузу, дѣйствующему на одинъ изъ концовъ коромысла, нагибать послѣднее. Слѣдовательно, *если линія соединяющая точки привѣса грузовъ, лежитъ ниже оси вращенія, то по мѣрѣ увеличенія грузовъ чувствительность будетъ уменьшаться.*

Фиг. 308.



Это уменьшеніе чувствительности будетъ тѣмъ значительнѣе, чѣмъ ниже линія, соединяющая точки привѣса грузовъ, лежитъ подъ осью вращенія. Въ справедливости этого мы можемъ убѣдиться слѣдующимъ разсужденіемъ. Для чувствительности вѣсовъ необходимо, чтобы центръ тяжести находился вблизи оси вращенія; слѣдовательно линія, соединяющая точки привѣса грузовъ, при постепенномъ пониженіи своемъ, будетъ не только удаляться отъ оси вращенія, но и отъ центра тяжести коромысла, потому что послѣдняя точка остается неизмѣнною. А какъ съ увеличеніемъ грузовъ, общій центръ тяжести будетъ находиться вблизи этой линіи, то ясно, что пониженіе послѣдней повлечетъ за собою увеличеніе разстоянія, между общимъ центромъ тяжести и осью вращенія коромысла; а мы знаемъ, что съ увеличеніемъ этого разстоянія уменьшается чувствительность.

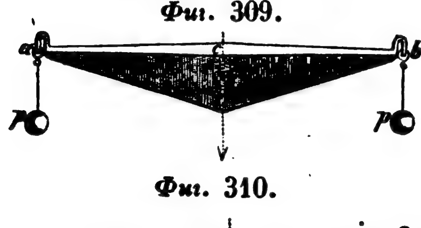
Уменьшеніе чувствительности вѣсовъ при пониженіи линіи, соединяющей точки привѣса грузовъ, заставляетъ насъ обратить вниманіе на самое устройство коромысла. Мы говорили, что вѣсы будутъ тѣмъ чувствительнѣе, чѣмъ легче и чѣмъ длиннѣе коромысло. Если бы, увлекаясь послѣднимъ условіемъ, мы сдѣлали коромысло слишкомъ длиннымъ и легкимъ, то при увеличеніи грузовъ привѣшенныхъ къ его концамъ, оно можетъ изгибаться и чрезъ то линія, соединяющая точки привѣса грузовъ, можетъ расположиться ниже оси вращенія. Для устраненія этого должно давать такое устройство коромыслу, чтобы, удовлетворяя легкости, оно было по возможности прочно. Этого достигаютъ на практикѣ различнымъ образомъ. Такъ напр. все внутреннее пространство между краями коромысла дѣлаютъ пустымъ, какъ это можно видѣть изъ фигуры, представляющей вѣсы Берцеліуса. Иногда же въ коромыслѣ дѣлаютъ нѣсколько вырѣзовъ. Въ настоящее время въ вѣсахъ, приготовляемыхъ лучшими художниками, коромысло дѣлается изъ латуни; желѣзо же не употребляется по причинѣ ржавчины принимаемой этимъ металломъ и вліянія, оказываемаго на него земнымъ магнетизмомъ.

Поэтому вѣсы съ длиннымъ и легкимъ коромысломъ могутъ употребляться только для самыхъ незначительныхъ взвѣшиваній.

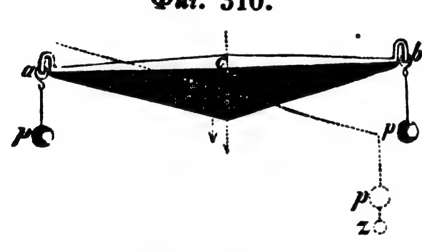
Разсмотримъ послѣдній случай, когда линія, соединяющая точки привѣса грузовъ, лежитъ выше оси вращенія.

При равновѣсіи коромысла (фиг. 309) точка приложенія равнодѣйствующей грузовъ, какъ мы уже знаемъ, должна проходить чрезъ средину c линіи ab. Положимъ, что отъ прибавленія незначительнаго груза къ концу b (фиг. 310) коромысло приметъ наклонное положеніе. Ясно, что при этомъ точка приложенія равнодѣйствующей равныхъ грузовъ, будетъ двигаться въ ту сторону, въ которую нагибается конецъ коромысла b, а центръ тяжести s, въ противную сторону. Изъ одного разсмотрѣнія фигуры 311-й уже видно, что сила, приложенная къ точкѣ c, будетъ дѣйствовать за одно съ грузомъ z, нагибающимъ коромысло противу силы, приложенной къ его центру тяжести s. Значитъ, *чѣмъ болѣе мы будемъ увеличивать силу, содѣйствующую грузу, который нагибаетъ коромысло, тѣмъ болѣе будетъ увеличиваться чувствительность вѣсовъ.*

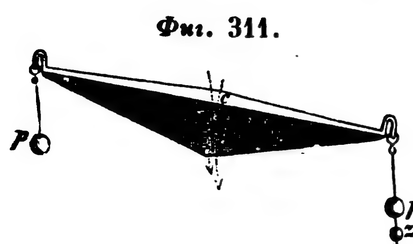
Фиг. 309.



Фиг. 310.



Фиг. 311.



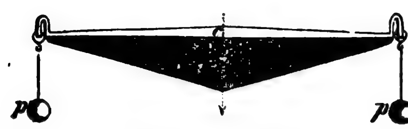
Прибавляя постепенно равные грузы къ концамъ коромысла, мы будемъ поднимать вмѣстѣ съ тѣмъ общій центръ тяжести. Если онъ поднимется до точки вращенія, то коромысло будетъ представлять случай безразличнаго равновѣсія. Увеличивая далѣе грузы, мы можемъ поднять общій центръ тяжести выше точки опоры: въ этомъ случаѣ вѣсы потеряютъ устойчивость, т. е. при малѣйшемъ нарушеніи равновѣсія будутъ опрокидываться. Вѣсъ грузовъ, при которомъ общій центръ тяжести поднимается до линіи, соединяющей точки привѣса грузовъ, называется *предѣломъ нагруженія.*

Изъ разсмотрѣнныхъ нами трехъ случаевъ видно, что для точныхъ взвѣшиваній могутъ быть употребляемы только тѣ вѣсы, у которыхъ линія, соединяющая точки привѣса грузовъ, или *совпадаетъ* съ точкою вращенія или лежитъ *выше* ея.

Но изъ этихъ двухъ случаевъ, первый представляетъ то удобство, что при немъ чувствительность не зависитъ отъ вѣса грузовъ, обременяющихъ коромысло. Обстоятельство это служитъ причиною, почему подобное расположеніе весьма часто употребляется при устройствѣ вѣсовъ. Относительно же достиженія бо́льшей чувствительности, имѣетъ преимущество послѣдній. И въ самомъ дѣлѣ, въ первомъ случаѣ увеличеніе чувствительности, достигаемое, при прибавленіи грузовъ, поднятіемъ общаго центра тяжести, болѣе или менѣе уравновѣшивается треніемъ въ точкѣ вращенія. Ясно, что точка вращенія будетъ менѣе терпѣть отъ этого неудобства, когда съ увеличеніемъ грузовъ равнодѣйствующая ихъ не уничтожается сопротивленіемъ этой точки, а прямо содѣйствуетъ грузу, нагибающему коромысло. Но при послѣднемъ расположеніи оси вращенія, общій центръ тяжести, какъ мы видѣли, можетъ подняться выше оси. Слѣдовательно такіе вѣсы позволяютъ взвѣшивать съ выгодою только грузы, недостигающіе предѣла нагруженія. Этотъ предѣлъ нагруженія опредѣляется слѣдующимъ образомъ.

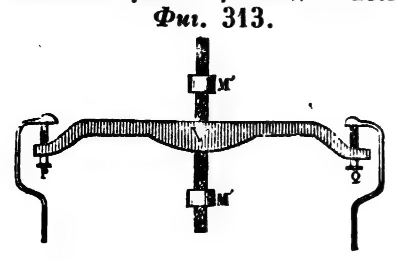
Положимъ, что K (фиг. 312) есть вѣсъ коромысла, P наибольшее число груза, соотвѣтствующее (для каждаго конца коромысла) предѣлу нагруженія, h' разстояніе центра тяжести коромысла отъ оси вращенія, а h высота линіи, соединяющей точки привѣса грузовъ надъ осью вращенія. На эту точку очевидно дѣйствуютъ двѣ силы: одна равнодѣйствующая грузовъ или $2P$, а другая — K. Какъ первая изъ нихъ дѣйствуетъ на точку c, а вторая — на точку s, то при равновѣсіи коромысла моменты силъ должны быть равны между собою, т. е. $2P.h = K.h'$; откуда $P = \frac{K.h'}{2h}$.

Фиг. 312.



Чтобы избѣгнуть во время опытовъ измѣненія чувствительности вѣсовъ, происходящаго вслѣдствіе болѣе или менѣе различнаго вѣса взвѣшиваемыхъ тѣлъ, кладутъ на одну изъ чашекъ гири, вѣсъ которыхъ приблизительно равенъ вѣсу послѣднихъ тѣлъ; послѣ того возстановляютъ равновѣсіе нагруженіемъ другой чашки пескомъ. Самое же взвѣшиваніе производятъ слѣдующимъ образомъ: кладутъ опредѣляемое тѣло на первую чашку и снимаютъ съ нее гири до тѣхъ поръ, пока не будетъ снова возстановлено равновѣсіе. Ясно, что снятыя гири покажутъ намъ, какъ и при двойномъ взвѣшиваніи, вѣсъ положеннаго тѣла. Самые же вѣсы, оставаясь всегда одинаково нагруженными, очевидно будутъ сохранять одну и туже чувствительность, въ особенности, если мы будемъ производить незначительныя взвѣшиванія.

Фиг. 313.



Все сказанное нами можетъ быть повѣрено посредствомъ прибора (фиг. 313), въ которомъ положеніе центра тяжести измѣняется посредствомъ двухъ противовѣсовъ M и M', а высота точекъ привѣса при помощи винтовъ P и Q; винты эти снабжены остріями, на которыхъ покоются углубленія прутьевъ, поддерживающихъ чашки.

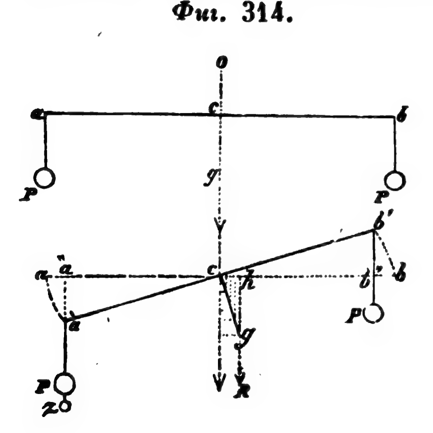
Матем. доказат. выведен. условій.

§ 120. Мы не считаемъ лишнимъ помѣстить здѣсь, для знакомыхъ съ математикою, формулы, относящіяся къ разсмотрѣннымъ нами случаямъ.

Мы знаемъ, что для практическаго употребленія, можетъ служить только то коромысло, центръ тяжести котораго ниже точки опоры.

Чтобы показать, какое вліяніе оказываетъ на чувствительность вѣсовъ разстояніе этой точки отъ оси вращенія, положимъ, что c (фиг. 314) есть ось вращенія коромысла ab, что cg есть отвѣсное разстояніе центра тяжести g отъ оси вращенія и что p есть вѣсъ груза, обременяющаго каждое плечо коромысла. Когда грузы, обременяющіе коромысло одинаковы, то при состояніи равновѣсія оно будетъ сохранять горизонтальное направленіе, потому что въ этомъ случаѣ статическіе моменты $ac.P$ и $ab.P$ равны и центръ тяжести лежитъ отвѣсно подъ точкою вращенія. Положимъ, что къ одному концу привѣшенъ перевѣшивающій грузъ z, представляющій разность грузовъ. Въ этомъ случаѣ дѣйствуютъ въ отвѣсномъ направленіи по одну сторону отъ оси вращенія силы P и z, а по другую только сила P. Какъ

Фиг. 314.

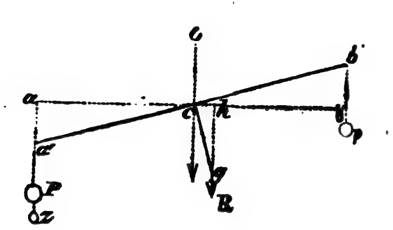


силы, дѣйствующія съ двухъ сторонъ отъ оси вращенія, не равны, то ясно, что при горизонтальномъ положеніи коромысла, статическіе моменты ихъ не могутъ быть одинаковы. Вслѣдствіе того, коромысло будетъ вращаться на оси до тѣхъ поръ, пока статическіе моменты дѣйствующихъ на него силъ не сдѣлаются равными между собою. Какъ при этомъ центръ тяжести g отклонится отъ отвѣсной линіи, проходящей чрезъ точку вращенія, то очевидно, что по одну сторону отъ этой линіи будутъ дѣйствовать силы P и z въ разстояніи $a'c$, а по другую P и R (вѣсъ коромысла) въ отвѣсномъ разстояніи $b''c$ и hc отъ оси. Поэтому коромысло придетъ въ равновѣсіе когда $(P+z)a''c = P.b''c + R.hc$. Какъ $a''c = b''c$, то мы можемъ выключить изъ общихъ частей уравненія равныя величины: $P.a''c$ и $P.b''c$, и для условія равновѣсія будемъ имѣть $z.a''c = R.ah$; откуда $z = R.\frac{hc}{a''c}$. Понятно, что величина z, т. е. груза, потребнаго для выведенія коромысла изъ горизонтальнаго положенія, будетъ зависѣть отъ увеличенія и уменьшенія величины $R.\frac{hc}{a''c}$. Послѣдняя же величина будетъ тѣмъ незначительнѣе, чѣмъ менѣе числитель (hc) дроби. Величина hc, представляющая отвѣсное разстояніе центра тяжести отъ оси вращенія, будетъ очевидно зависѣть отъ самой величины gc. Значитъ вѣсы будутъ способны обнаруживать отклоненіе тѣмъ для меньшаго перевѣса или, говоря другими словами, будутъ становиться тѣмъ чувствительнѣе, чѣмъ менѣе разстояніе центра тяжести отъ оси вращенія. Точно также легко видѣть, что величина $R.\frac{hc}{a''c}$ будетъ тѣмъ менѣе, чѣмъ незначительнѣе величина R (вѣсъ коромысла) и чѣмъ болѣе знаменатель дроби $a''c$ (длина плеча коромысла).

Покажемъ теперь зависимость чувствительности отъ различнаго расположенія линіи, соединяющей точки привѣса грузовъ относительно оси вращенія.

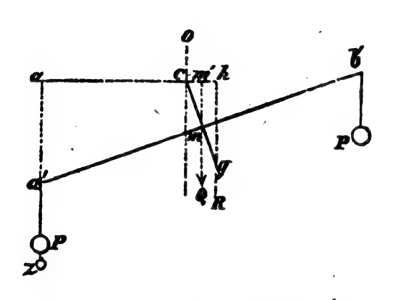
Разберемъ сперва тотъ случай, когда эта линія проходитъ чрезъ ось. Положимъ, что ab (фиг. 315) представляетъ направленіе коромысла, ось вращенія котораго совпадаетъ съ линіею, соединяющею точки привѣса равныхъ грузовъ. Какъ равнодѣйствующая этихъ грузовъ уничтожается сопротивленіемъ точки вращенія, то значитъ, что горизонтальность коромысла обусловливается только отвѣснымъ расположеніемъ центра тяжести подъ осью вращенія. Допустимъ, что отъ незначительнаго груза, привѣшеннаго къ лѣвому концу коромысла, оно приняло положеніе $a'b'$. Въ этомъ случаѣ коромысло будетъ подвержено дѣйствію трехъ силъ: перевѣшивающагося груза z, вѣса коромысла R, сосредоточеннаго въ его центрѣ тяжести и наконецъ вѣса грузовъ Q, уничтожающагося сопротивленіемъ точки опоры. Какъ двѣ первыя силы дѣйствуютъ по обѣ стороны отъ оси вращенія c, то для равновѣсія коромысла въ положеніи $a'b'$ необходимо, чтобы моментъ $z.ac$ былъ равенъ $R.hc$, т. е. $z.ac = R.hc$. Какъ въ это уравненіе не входитъ величина Q, означающая вѣсъ груза, обременяющаго коромысло, то значитъ, что величина эта не имѣетъ вліянія на чувствительность. Слѣдовательно при совпаденіи оси вращенія коромысла съ линіею, соединяющею точки привѣса грузовъ, чувствительность не зависитъ отъ измѣненія величины послѣднихъ.

Фиг. 315.



Положимъ, что линія, соединяющая точки привѣса грузовъ, лежитъ ниже оси вращенія c (фиг. 316). Какъ при этомъ равнодѣйствующая грузовъ, приложенная къ точкѣ m, не уничтожается сопротивленіемъ точки опоры и какъ она дѣйствуетъ въ одну сторону съ центромъ тяжести, противу перевѣшивающаго груза z, который находится по другую сторону оси вращенія, то при равновѣсіи коромысла въ положеніи $a'b'$ моментъ $z \, . \, ac$ долженъ быть равенъ $R.hc + Q.m'c$, откуда $z = \frac{R \, . \, hc + Q.m'c}{ac}$.

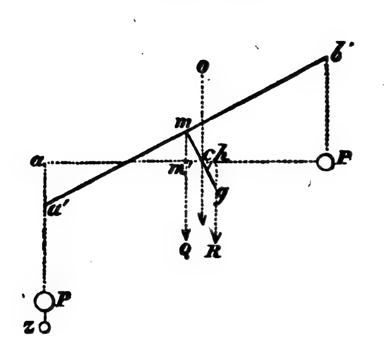
Фиг. 316.



Понятно, что всѣ обстоятельства увеличивающія и уменьшающія величину дроби $\frac{R.hc + Q.m'c}{ac}$, влекутъ за собою увеличеніе и уменьшеніе величины z, а какъ увеличеніе дроби зависитъ отъ увеличенія числителя, то увеличивая величину Q (вѣсъ грузовъ обременяющихъ коромысло), при неизмѣнности прочихъ обстоятельствъ, мы будемъ въ тоже время увеличивать z. Слѣдовательно при увеличеніи вѣса грузовъ обременяющихъ коромысло, намъ должно увеличивать грузъ производящій перевѣсъ, а это показываетъ, что отъ прибавленія вѣса грузовъ обременяющихъ коромысло, чувствительность будетъ уменьшаться.

Если линія, соединяющая точки привѣса грузовъ, лежитъ выше оси вращенія коромысла (фиг. 317), то для равновѣсія его необходимо, чтобы вѣсъ перевѣшивающаго груза вмѣстѣ съ равнодѣйствующею грузовъ обременяющихъ концы коромысла, уравновѣшивали вліяніе центра тяжести, стремящагося расположиться отвѣсно подъ осью вращенія, т. е. чтобы $z.ac + Q.mc = R.hc$; откуда $z.ac = R.hc - Q.mc$ или $z = \frac{R.hc - Q.mc}{ac}$.

Фиг. 317.

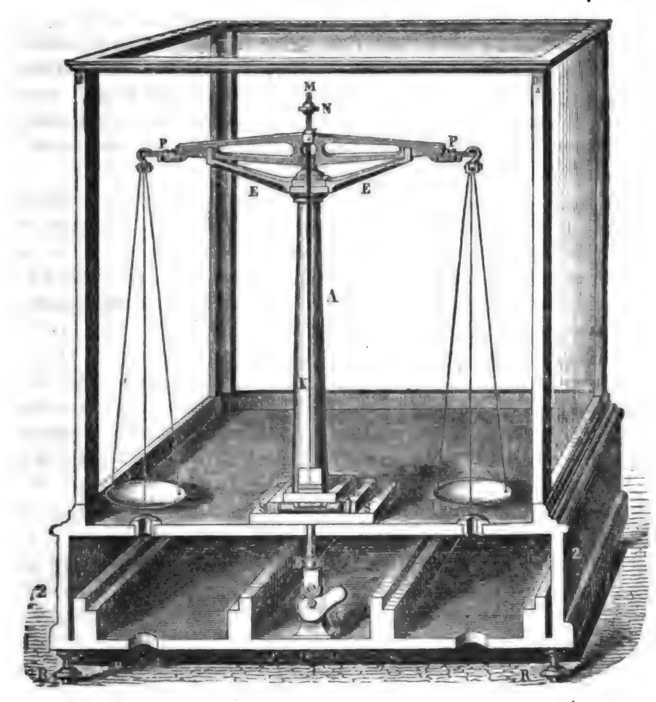


Примѣняя предъидущее разсужденіе къ этому уравненію, найдемъ, что съ увеличеніемъ Q будетъ уменьшаться величина разности между обоими членами числителя и это уменьшеніе будетъ продолжаться до тѣхъ поръ, пока Q не увеличится до того, что оба эти члена сдѣлаются равными. Это показываетъ намъ, что до этого предѣла будетъ постоянно возрастать чувствительность вѣсовъ. — Когда $R.hc = Q.mc$, то $R.hc - Q.mc = o$; слѣдовательно $z = \frac{o}{ac} = \infty$ (безконечности), т. е. что коромысло будетъ сохранять безразличное равновѣсіе. Если послѣ того увеличить Q самою незначительною величиною, то получимъ $Q \, . \, m$ болѣе $R \, . \, hc$; слѣдовательно для z получится тогда отрицательная величина, которая показываетъ намъ, что равновѣсіе сдѣлалось неустойчивымъ.

Описаніе различныхъ вѣсовъ. **§ 121.** Всѣ разсмотрѣнныя нами условія могутъ быть достигнуты на практикѣ различнымъ образомъ. Мы опишемъ здѣсь нѣкоторыя изъ устройствъ наиболѣе удовлетворяющихъ строгому взвѣшиванію, употребляемому при физическихъ или химическихъ работахъ, которыя требуютъ особенной точности.

На фигурѣ 318-й представлены вѣсы Фортеня, усовершенствованные извѣст-

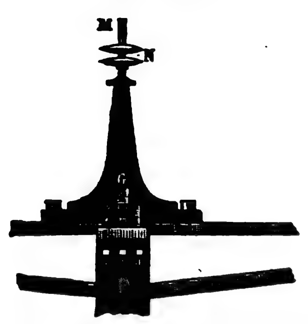
Фиг. 318.



нымъ французскимъ механикомъ и оптикомъ Шевалье. Внутри бронзовой вертикальной колонны *A* находится стальной стержень; нижняя часть его *B* оканчивается вращающимся на оси колесомъ, которое прикасается къ эксцентрику *c*, назначенному для поднятія стержня. Въ верхней части стержня находится выступъ *D* (фиг. 319), служащій для опоры коромысла. Къ колон-



Фиг. 319.



нѣ *A* укрѣплены два стальные выступа *EE* (фиг. 318), оканчивающіеся въ верхней части двумя вилками, на которыхъ лежитъ коромысло. Коромысло въ вѣсахъ Шевалье стальное; оно прикрѣплено къ вилкамъ посредствомъ пластинокъ, нажимаемыхъ винтами, въ центрѣ его находится стальная призма или ножъ *G* (фиг. 319), обращенный книзу нѣсколько притупленнымъ остріемъ. Ножъ этотъ покоится на агатовыхъ пластинкахъ, укрѣпленныхъ на верхнемъ выступѣ стержня *D* и приводимыхъ въ горизонтальное положеніе посредствомъ винтовъ *JJJ*. Непосредственно подъ ножемъ прикрѣплена къ коромыслу длинная игла *K*, нижній конецъ которой указываетъ величину отклоненія коромысла движеніемъ своимъ по раздѣленной на градусы дугѣ *L*, которая придѣлана наглухо къ колоннѣ *A*. Надъ центромъ коромысла находится винтъ *M* съ гирей *N*, назначенной для перемѣщенія центра тяжести. Вѣсъ этой гири и длина винта разсчитаны такъ, чтобы при наивысшемъ положеніи гири центръ тяжести коромысла находился надъ оконечностію ножа, служащею точкою вращенія. Въ этомъ случаѣ коромысло будетъ находиться въ неустойчивомъ равновѣсіи, потому что коромысло постоянно качается то вправо, то влѣво и не приходитъ само собою въ состояніе равновѣсія. Съ опусканіемъ гири *N* будетъ опускаться въ тоже время и

центръ тяжести; при совпаденіи послѣдняго съ точкою вращенія, коромысло будетъ сохранять безразличное равновѣсіе, потому что коромысло будетъ сохранять равновѣсіе во всѣхъ возможныхъ положеніяхъ. При дальнѣйшемъ опусканіи гири *N* центръ тяжести расположится ниже точки вращенія и тогда коромысло будетъ сохранять устойчивое равновѣсіе: это послѣднее расположеніе центра тяжести узнается по правильности качаній иглы, которая сама собою приходитъ въ состояніе покоя. Судя по большему или меньшему удаленію центра тяжести отъ точки вращенія (при нахожденіи выше его) игла производитъ болѣе или менѣе быстрыя колебанія.

Точки привѣса чашъ находятся на обращенныхъ кверху остріяхъ двухъ стальныхъ призмъ, которыя помѣщены на оконечностяхъ коромысла. Призмы эти, какъ мы уже знаемъ, должны сохранять параллельное положеніе къ оси вращенія коромысла. Онѣ помѣщены въ подвижныхъ пластинкахъ *PP*. Посредствомъ небольшихъ винтовъ можно по произволу увеличивать и уменьшать длину плечъ коромысла.

Колонна *A* утверждена на верхней доскѣ небольшаго ящика *QQ*; доска эта приводится въ горизонтальное положеніе посредствомъ винтовъ *RR*, составляющихъ ножки ящика, и небольшаго *уровня ss*, значеніе котораго будетъ объяснено нами впослѣдствіи. Понятно, что съ доставленіемъ горизонтальности верхней доскѣ, мы будемъ приводить колонну *A* въ отвѣсное, а коромысло въ горизонтальное положеніе.

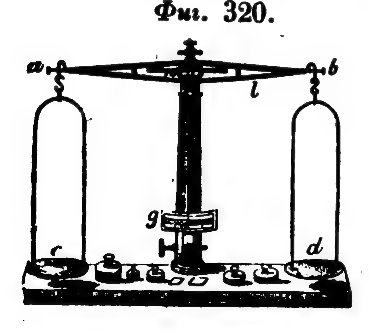
Къ эксцентрику *C* придѣлана квадратная дощечка, входящая въ вырѣзъ нижней части ящика *QQ*. Въ эту дощечку вкладывается ключъ, посредствомъ котораго поднимается и опускается выступъ *D*, поддерживающій коромысло. Чрезъ это можно по произволу или оставлять коромысло на агатовой подставкѣ, или поддерживать его вилками *FF*, для того, чтобы избавить подставки отъ излишняго давленія.

Чтобы предохранить коромысло отъ вліянія движеній воздуха, производимыхъ наблюдателемъ при взвѣшиваніи, накрываютъ вѣсы стекляннымъ колпакомъ, имѣющимъ форму ящика, въ боковыхъ сторонахъ котораго устроены небольшія дверцы. Чрезъ эти дверцы вносятся въ ящикъ тѣла, назначенныя для нагруженія чашъ.

Какъ воздухъ при обыкновенной температурѣ заключаетъ постоянно большее или меньшее количество водяныхъ паровъ, то внутри ящика помѣщаютъ вещества, поглощающія влагу изъ заключеннаго въ немъ воздуха, чрезъ что предохраняется отъ ржавчины какъ самое коромысло, такъ и призмы, служащія точками вращенія. Обстоятельство это важно потому, что призмы должны быть всегда отполированы и не могутъ быть покрыты лакомъ.

Какъ въ этихъ, такъ и въ другихъ вѣсахъ весьма важно, чтобы призмы, на которыхъ повѣшены чаши, прикасались постоянно однѣми и тѣми же точками къ крючьямъ, поддерживающимъ чаши, потому что въ противномъ случаѣ всегда можетъ произойти малое измѣненіе въ длинѣ плечъ коромысла. Для избѣжанія этого должно стараться, чтобы въ вѣсахъ Шевалье грузы по возможности были въ самомъ центрѣ чашъ.

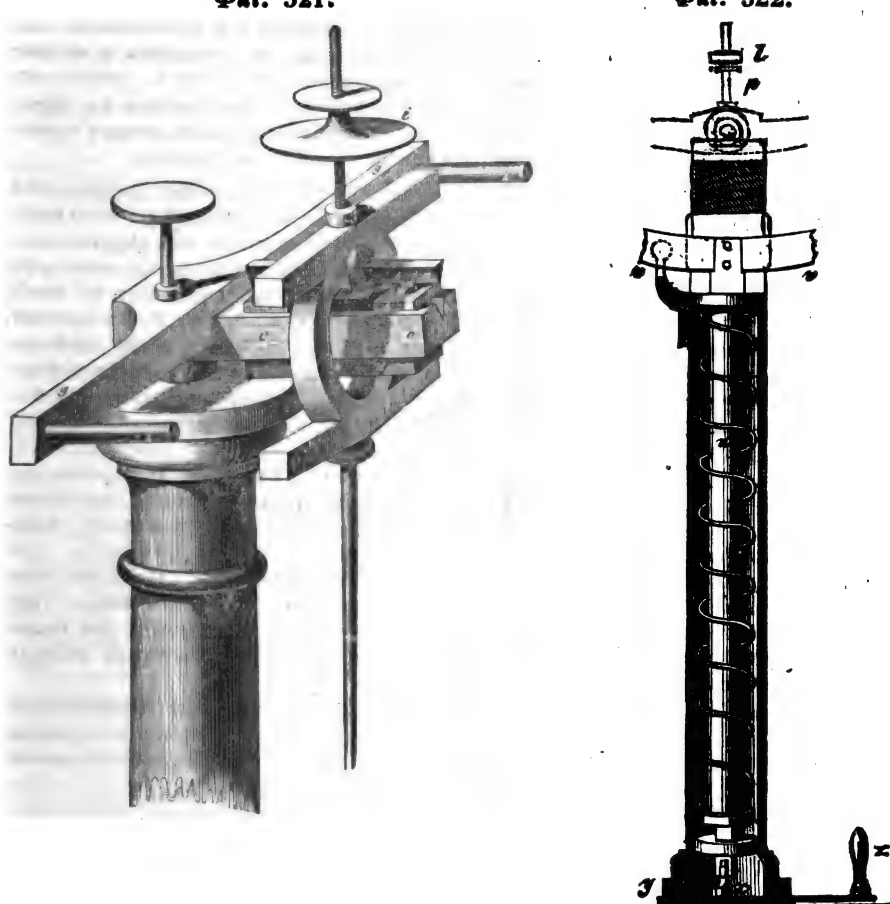
Фиг. 320.



Неудобство это устранено въ вѣсахъ первоначально предложенныхъ Берцелісомъ (фиг. 320 и 321). Мы опишемъ эти вѣсы съ тѣми измѣненіями, которыя приданы имъ въ настоящее время лучшими художниками. Чтобы лучше видѣть способъ прикрѣпленія коромысла, на фигурѣ 321-й представлена только средняя часть его, въ увеличенномъ размѣрѣ противу фигуры 320-й. По обѣ стороны коромысла проходитъ трехсторонняя стальная призма *a*, ось которой

перпендикулярна къ отвѣсной плоскости его. — Нѣсколько притупленное остріе этой призмы лежитъ на верхней поверхности двухъ небольшихъ агатовыхъ пластинокъ, изъ которыхъ одна находится спереди, а другая позади коромысла. Это расположеніе пластинокъ можно очень ясно представить себѣ изъ фиг. 321, гдѣ изображена только одна передняя пластинка *b*. Обѣ

Фиг. 321. Фиг. 322.

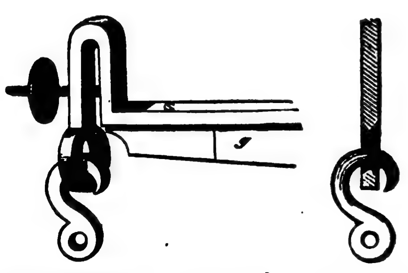


пластинки, поддерживающія ножъ коромысла, укрѣплены на двухъ четырехстороннихъ мѣдныхъ призмахъ *c*, составляющихъ одно цѣлое съ соединяющею ихъ горизонтальною дощечкою *d*. Для предупрежденія стиранія ножа во время бездѣйствія вѣсовъ, все мѣдное тѣло, поддерживающее агатовыя пластинки, обхватывается рамой *e*, которая снабжена двумя вырѣзами, лежащими отвѣсно подъ двумя концами трехсторонней стальной призмы *a*. Рама эта прикрѣплена къ стержню, проходящему внутри отвѣсной колонны, которая поддерживаетъ коромысло. Самый стержень можетъ быть поднимаемъ и опускаемъ посредствомъ различныхъ способовъ, изъ которыхъ мы укажемъ на слѣдующій, представленный на фигурѣ 322-й. Внутри отвѣсной колонны вѣсовъ находится подвижной мѣдный цилиндръ *u*, обвитый спиральной пружиной. Верхняя часть цилиндра соединена съ подпорками *v* и *v*, служащими для поддержанія вилокъ; нижняя же часть цилиндра оканчивается небольшимъ колесомъ, покоющимся на наклонной плоскости *x*. Эта наклонная плоскость движется вокругъ центра *y*, посредствомъ рукоятки *z*. Рукоятка эта можетъ принимать два движенія: одно, при которомъ наклонная плоскость поднимаетъ

колесо и цилиндръ, и другое, при которомъ наклонная плоскость не поддерживаетъ болѣе цилиндра; въ послѣднемъ случаѣ пружина способствуетъ массѣ цилиндра опускаться книзу; вслѣдствіе того опадаютъ соединенныя съ цилиндромъ подпорки *v* и *v*, и ножъ коромысла опускается на подушки. При поднятіи стержня поднимается прикрѣпленная къ нему рама *e* (фиг. 321), и это поднятіе продолжаютъ до тѣхъ поръ, пока верхняя плоскость ея не будетъ выше верхней плоскости обхватываемыхъ ею дощечекъ *d* и помѣщенныхъ на нихъ агатовыхъ пластинокъ, т. е. пока вырѣзы рамъ не обхватятъ и неприподнимутъ самый ножъ. На столбѣ, поддерживающемъ раму *c*, укрѣпленъ поперечный брусъ *g* съ двумя выступами *hh*, которые прикасаются къ коромыслу. Устройство гири *i*, служащее для измѣненія положенія центра тяжести, одинаково какъ и въ описанныхъ нами выше вѣсахъ Фортеня.

Главнѣйшее же отличіе вѣсовъ Берцеліуса отъ вѣсовъ Фортеня, заключается въ способѣ прикрѣпленія чашъ. Этотъ способъ, представленный на фигурахъ 323 и 324, заключается въ слѣдующемъ: къ концамъ коромысла придѣланы двѣ стальныя пружины, изогнутыя въ видѣ обращенной книзу буквы *U*. Въ нижней части пружинъ сдѣланы сбоку небольшія отверстія. Въ эти отверстія вдѣваются крючья, къ которымъ прикрѣплены нити, поддерживающія чаши. Сквозь средину каждой пружины проходитъ небольшой винтъ, входящій въ коромысло. Съ помощію этихъ винтовъ, снабженныхъ небольшими противовѣсами, можно измѣнять разстояніе между точкою привѣса и точкою вращенія, что позволяетъ дѣлать совершенно равными оба плеча коромысла. Понятно, что если это условіе выполнено при равновѣсіи коромысла, необремененнаго грузами, то равновѣсіе будетъ существовать и въ томъ случаѣ, когда мы положимъ на чаши равные грузы. Этимъ устройствомъ Берцеліусъ имѣлъ въ виду избѣжать медленности двойнаго взвѣшиванія.


Фиг. 323 и 324.

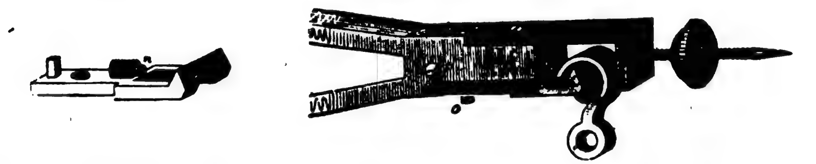


Самый способъ прикрѣпленія крючьевъ, позволяетъ точкамъ привѣса грузовъ постоянно находиться на однихъ и тѣхъ же мѣстахъ. Чрезъ что всегда сохраняется равенство плечъ и нѣтъ никакой надобности заботиться о помѣщеніи грузовъ, по возможности ближе къ самому центру чашъ.

Но какъ при этомъ способѣ прикрѣпленія чашъ легко могутъ истираться точки прикосновенія крючьевъ съ отверстіями пружинъ, потому что весь вѣсъ коромысла и обременяющихъ его грузовъ, покоится на незначительномъ числѣ точекъ, то въ настоящее время употребляютъ два способа, изъ которыхъ одинъ придуманъ Госомъ, а другой — Эртлингомъ. Способъ Госа заключается въ слѣдующемъ.

Призмы, на которыя привѣшиваются чаши, составляютъ оконечности стальныхъ пластинокъ (фиг. 325 и 326), привинченныхъ къ нижней части мѣднаго коромысла. Каждая призма, какъ показываетъ фигура 325, состоитъ собственно изъ двухъ частей, между которыми въ верхней части находится небольшой промежутокъ, постепенно уширяющійся книзу. Крючья, покоющіеся на этихъ призмахъ, состоятъ изъ изогнутыхъ широкихъ пластинокъ, раздѣлен-

Фиг. 325. Фиг. 326.



ныхъ со стороны обращенной къ оси вращенія коромысла на двѣ части тонкимъ металлическимъ листикомъ, который проходитъ посрединѣ прорѣза, разъединяющаго обѣ части призмъ. На фиг. 326-й листокъ этотъ представленъ чернымъ кругомъ. Понятно, что съ помощію листика устраняется всякое движеніе крючка въ сторону.

Призмы приводятся въ надлежащее положеніе посредствомъ слѣдующаго способа.

При расположеніи призмъ возможны только двѣ ошибки: или призмы не параллельны къ ножу, или онѣ находятся въ различномъ разстояніи отъ точки вращенія коромысла.

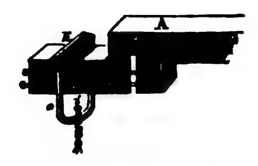
Для исправленія первой ошибки придѣлывается къ стальной пластинкѣ, на которой лежитъ призма, отвѣсный штифтикъ (фиг. 325), входящій въ соотвѣтственное углубленіе мѣдной части коромысла. Внутренность этого углубленія устраивается такимъ образомъ, чтобы между нею и штифтикомъ находилось свободное пространство. Если какая нибудь изъ призмъ не параллельна къ ножу, то отпускаютъ немного винтъ *o* (фиг. 326), прикрѣпляющій пластинку къ коромыслу, и вертятъ винтъ *p*, входящій въ массу коромысла и упирающійся въ самый штифтикъ до тѣхъ поръ, пока пластинка не повернется въ горизонтальной плоскости на столько, сколько необходимо, чтобы ось приняла надлежащее положеніе.

Для исправленія второй ошибки служитъ винтъ *n*. Онъ входитъ въ гайку, вырѣзанную въ нижней части коромысла. Нижняя же часть винта выступаетъ изъ коромысла и входитъ въ небольшое углубленіе привинченной къ коромыслу стальной пластинки, въ которой впрочемъ не находится вырѣзовъ. Если винтъ *o* отпущенъ немного, то вращая винтъ *n* можно стальную пластинку по произволу приближать къ оси коромысла или удалять отъ нее.

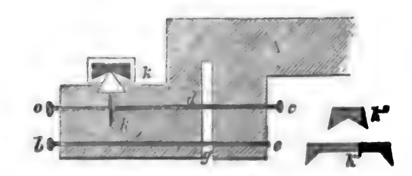
Берлинскій механикъ *Эртлингъ*, извѣстный по точности своихъ оптическихъ и механическихъ приборовъ, въ особенности вѣсовъ, устраиваетъ прикрѣпленія чашъ къ коромыслу болѣе упрощеннымъ способомъ, который въ этомъ отношеніи имѣетъ преимущество передъ способомъ Госа.

На оконечности мѣднаго коромысла устраивается стальная ось (фиг. 327), входящая своимъ основаніемъ въ вырѣзъ коромысла; ось эта утверждается

Фиг. 327.



Фиг. 328.



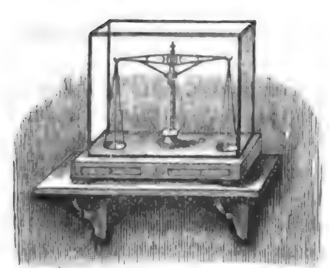
посредствомъ винта (фиг. 328), который связываетъ разрѣзъ, сдѣланный въ коромыслѣ подъ самою осью.

Для равнаго удаленія призмъ отъ точки вращенія, служатъ правый и лѣвый нижніе винты. На ось надѣвается шляпка; нижняя сторона этой шляпки, обращенная къ оси, состоитъ изъ пересѣченія агатовыхъ плоскостей образующихъ уголъ нѣсколько тупѣе противу самой оси, такъ что верхнее ребро оси лежитъ только на линіи пересѣченія двухъ боковыхъ агатовыхъ плоскостей. Всѣ агатовыя пластинки, образующія эти плоскости, вдѣланы въ мѣдную оправу, снабженную мѣднымъ стременемъ, къ которому прикрѣпляются чашки.

При выборѣ вѣсовъ для точныхъ взвѣшиваній обыкновенно довольствуются тѣмъ, чтобы при нагруженіи каждой чашки килограммомъ, коромысло приходило бы въ колебаніе отъ одного миллиграмма, приложеннаго на одну изъ чашекъ.

Вѣсы, употребляемые для точныхъ взвѣшиваній, должны быть предохраняемы отъ сотрясенія во время опредѣленія вѣса и потому обыкновенно ставятъ ихъ на горизонтальной доскѣ, утвержденной въ неподвижной вертикальной стѣнѣ посредствомъ подпорокъ (фиг. 329). Передъ самымъ взвѣшиваніемъ открываютъ боковыя дверцы, запирающія ящикъ сбоку; опускаютъ вилки; съ помощію нижнихъ винтовъ и уровня приводятъ указатель къ нулю дѣленій; послѣ того поднимаютъ вилки и помѣщаютъ взвѣшиваемые предметы на одну, а гири на другую чашку. Если послѣ того опустить вилки, то коромысло начнетъ качаться и достаточно тогда снять или прибавить нѣсколько гирь для того, чтобы указатель остановился на нулѣ. Когда взвѣшиваніе окончено, то прежде снятія грузовъ поднимаютъ вилки.

Фиг. 329.



Если вѣсы очень чувствительны, то указатель приходитъ къ нулю только послѣ продолжительныхъ качаній. Поэтому во многихъ случаяхъ вмѣсто того, чтобы выжидать окончанія движеній указателя, гораздо выгоднѣе заблаговременно принять средину дуги его качаній за точку, въ которой онъ долженъ остановиться, а для большой точности должно брать средину не одной, но нѣсколькихъ дугъ. При этомъ не должно упускать изъ виду, что слѣдуетъ брать собственно средній результатъ при движеніи указателя между первымъ и вторымъ дѣленіями скалы.

При точномъ взвѣшиваніи не должно брать гири непосредственно руками, потому что отъ того гири могутъ подвергаться различнымъ измѣненіямъ, имѣющимъ вліяніе на ихъ вѣсъ. Измѣненія эти заключаются въ окисленіи и перемѣнѣ температуры. Вліяніе этихъ обстоятельствъ можетъ быть понятно только послѣ изученія химическихъ явленій и явленій теплоты.

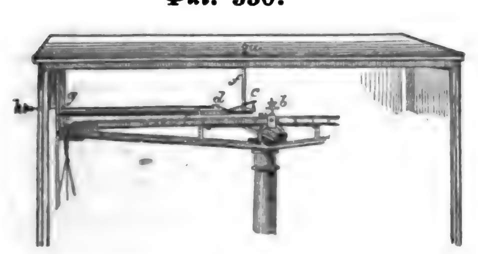
При взвѣшиваніи тѣлъ, которыя отъ тренія принимаютъ электрическое состояніе, какъ напр. стеклянныхъ и фарфоровыхъ шаровъ и палочекъ, должно обращать вниманіе на это обстоятельство, потому что при этомъ въ натертомъ тѣлѣ, лежащемъ подъ чашкою, развивается электричество противоположное тому, которое приняло взвѣшиваемое тѣло отъ тренія. Два противоположныя электричества, какъ мы увидимъ впослѣдствіи, притягиваются другъ другомъ; въ настоящемъ же случаѣ, подвижность вѣсовъ способствуетъ обнаруженію этого притяженія. Для устраненія этого обстоятельства французскій физикъ Реньо совѣтуетъ вытирать стеклянныя тѣла мокрыми тряпками и прежде взвѣшиванія давать имъ время хорошенько высохнуть. На это замѣчаніе должно обращать особенное вниманіе при химическихъ анализахъ и опредѣленіи удѣльнаго вѣса грузовъ.

Въ нѣкоторыхъ вѣсахъ, для избѣжанія прикладыванія самыхъ маленькихъ грузовъ, какъ напр. въ миллиграмъ, придаютъ вѣсамъ, по предложенію Берцеліуса, слѣдующее устройство. Для этого разстояніе отъ оси вращенія коромысла до какой нибудь одной изъ призмъ, на которыхъ покоятся крючья чашъ, раздѣляютъ на 10 равныхъ частей. Вмѣсто незначительныхъ гирь дѣлаютъ обыкновенно одинаковые съ ними по вѣсу крючки, которые можно удобно вѣшать верхомъ на ребро коромысла. Положимъ, что одна изъ такихъ гирь, вѣсящая ровно сантиграммъ, будетъ постепенно передвигаться по всѣмъ дѣленіямъ коромысла, начиная отъ оси его вращенія до одной изъ оконечностей. Очевидно, что гиря эта произведетъ тоже дѣйствіе какъ бы на чашу, привѣшенную къ оконечности коромысла,

положена была $^1/_{10}$, $^2/_{10}$, $^3/_{10}$ и т. д. сантиграмма, т. е. 1, 2, 3 и т. д. миллиграмма. Причину этого мы поймемъ легко, если припомнимъ себѣ законъ, что параллельныя силы, приложенныя къ неравноплечному рычагу, должны относиться между собою обратно пропорціонально ихъ плечамъ.

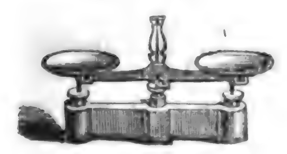
Для удобнѣйшаго накладыванія крючковъ на коромысло Эртлингъ придумалъ устройство, показанное на фиг. 330-й. Для этого параллельно одному плечу коромысла, близь задней стороны ящика, покрывающаго вѣсы, устроивается линейка. На этой линейкѣ находится шаръ, сквозь который проходитъ тоненькій стержень, передвигаемый по длинѣ линейки рукою, прикасающеюся къ оконечности стержня, которая выходитъ наружу изъ боковой стѣны ящика. Посредствомъ этого стержня приводится въ движеніе небольшой рычагъ, опускающійся и поднимающійся надъ различными точками плеча коромысла. При опусканіи онъ не прикасается собственно къ коромыслу, но только подводится небольшимъ выступомъ къ верхнему ушку крючка; когда ушко захвачено, поднимаютъ рычагъ при помощи шара лежащаго на линейкѣ и подводятъ крючекъ къ тому дѣленію, на которое желаютъ его опустить. По помѣщеніи крючка на дѣленіе, освобождаютъ изъ ушка крючка выступъ рычага и поднимаютъ послѣдній.

Фиг. 330.

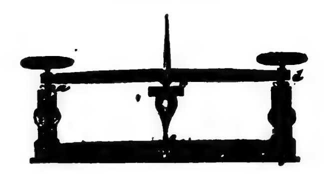


Одно изъ видоизмѣненій обыкновенныхъ вѣсовъ съ коромысломъ, представляютъ такъ называемые горизонтальные вѣсы, изображенные на фигурахъ 331 и 332, изъ которыхъ послѣдняя представляетъ собственно внутреннюю ихъ часть. Основаніемъ ихъ служитъ также равноплечій рычагъ. На этомъ коромыслѣ лежатъ чашки, назначенныя для взвѣшиванія тѣлъ. Для доставленія этимъ чашкамъ движенія по отвѣсному направленію, придѣланъ къ коромыслу подвижной параллелограммъ *abcd*, двигающійся внутри основанія вѣсовъ. При этомъ подвижномъ расположеніи частей, находящихся подъ коромысломъ, все равно, гдѣ бы не находились взвѣшиваемыя тѣла на чашкахъ вѣсовъ: во всякомъ случаѣ давленіе обнаруживаемое ими книзу, будетъ сосредоточиваться на центральныя точки чашъ, противу которыхъ происходитъ опусканіе частей параллелограмма *ab* и *df*. Горизонтальные вѣсы имѣютъ передъ обыкновенными два пре-

Фиг. 331.



Фиг. 332.

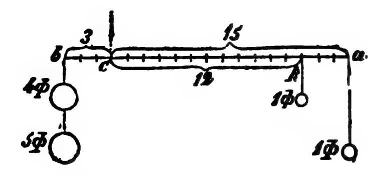


имущества: во-первыхъ, удобство помѣщенія тѣлъ на чаши и во-вторыхъ, возможность снятія чашки со взвѣшиваемымъ тѣломъ по окончаніи взвѣшиванія. Во Франціи при обыкновенномъ взвѣшиваніи небольшихъ грузовъ, повсемѣстно употребляютъ въ торговлѣ горизонтальные вѣсы.

До этихъ поръ мы разсматривали вѣсы, коромысло которыхъ основано на равновѣсіи *равноплечаго рычага.* Для взвѣшиванія извѣстнаго тѣла на этихъ вѣсахъ, необходимо, какъ мы видѣли, чтобы вѣсъ гирь всегда былъ равенъ вѣсу взвѣшиваемаго тѣла. Неудобство это устраняется при коромыслѣ представляющемъ *неравноплечій рычагъ.* Мы знаемъ изъ законовъ равновѣсія неравноплечаго рычага, что онъ можетъ находиться въ равновѣсіи при дѣйствіи на него различныхъ силъ, только тогда, когда дѣйствующіе моменты послѣднихъ равны между собою. Вслѣдствіе того, мы можемъ незначительнымъ грузомъ поддерживать въ равновѣсіи гораздо большій грузъ, если только произведенія изъ грузовъ на соотвѣтственныя разстоянія между точкою привѣса рычага и точками привѣса грузовъ, равны между собою.

Положимъ, что мы желаемъ поддерживать въ равновѣсіи на неравноплечемъ рычагѣ одинъ фунтъ четырехъ-фунтовымъ грузомъ,

Фиг. 333.



приложеннымъ къ точкѣ *b* рычага *a* (фиг. 333). Ясно, что для этого должно передвигать однофунтовый грузъ по длинѣ рычага до точки *k*, при которой статическіе моменты обоихъ грузовъ равны между собою. Точно также, желая 1 фунтовую гирю уравновѣсить 5-ти фунтовою, должно передвинуть первую до точки *a*. Однимъ словомъ, передвигая какую нибудь опредѣленную гирю по длинѣ рычага, можно уравновѣшивать ею произвольнаго вѣса грузы, прикладываемые къ короткому плечу одного и того же рычага.

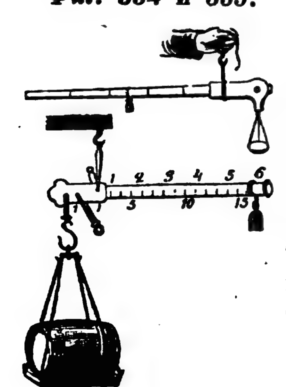
Положимъ, что рычагъ, обремененный на концѣ *b* какимъ либо грузомъ, приходитъ въ равновѣсіе въ томъ случаѣ, когда постоянная гиря остановилась на точкѣ *k*, лежащей отъ *c* въ четыре раза далѣе, противу точки *b*. Ясно, что въ этомъ случаѣ опредѣляемый грузъ долженъ быть въ четыре раза болѣе, противу постоянной подвижной гири. Если гиря равна 1 фунту, то грузъ долженъ быть равенъ 4 фунтамъ. Понятно, что при опредѣленіи вѣса того же самаго груза, посредствомъ постоянной гири другаго вѣса, разстояніе послѣдней отъ точки вращенія рычага будетъ уже другое, но всегда отношеніе между постоянною гирею и грузомъ будетъ выражаться обратнымъ отношеніемъ между линіями *ac* и *cb*, составляющими плечи рычага; такъ что *посредствомъ одной и той же гири могутъ быть опредѣляемы вѣса различныхъ грузовъ.*

Для производства подобнаго взвѣшиванія на самомъ дѣлѣ, нарѣзываютъ равныя дѣленія по всей длинѣ коромысла, представляющаго неравноплечій рычагъ. Нумера этихъ дѣленій слѣдуютъ по порядку,

начиная отъ точки привѣса рычага. Къ одному плечу послѣдняго прикрѣпляется висячая чашка, для помѣщенія взвѣшиваемыхъ тѣлъ, или крючекъ, которымъ захватываются тѣла. Надъ осью вращенія придѣлана отвѣсная стрѣлка, которая при горизонтальности рычага должна приходиться внутри двухъ висячихъ прорѣзовъ, на нижней части которыхъ вращается рычагъ. Число, принимаемое постоянною подвижною гирею во время равновѣсія рычага, дастъ намъ опредѣляемый вѣсъ тѣла. Дѣленія при изготовленіи рычага опредѣляются практически, привѣшиваніемъ груза извѣстнаго вѣса къ короткому плечу и нахожденіемъ тѣхъ мѣстъ, которыя, при каждомъ изъ привѣшенныхъ грузовъ, занимаетъ постоянная гиря.

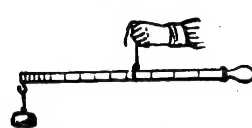
Примѣромъ описаннаго нами неравноплечаго рычага служатъ, такъ называемые римскіе вѣсы, т. е. бывшіе въ большомъ употребленіи у Римлянъ (фиг. 334). Вѣсы эти по своей простотѣ имѣютъ большое удобство, въ особенности, если отъ взвѣшиваній не требуется строгой точности, какъ это обыкновенно бываетъ при взвѣшиваніяхъ болѣе или менѣе значительныхъ грузовъ. Главнѣйшій недостатокъ этихъ вѣсовъ обыкновенно заключается въ томъ, что коромысло вмѣстѣ съ чашкою не сохраняетъ равновѣсія въ точкѣ привѣса по снятіи постоянной гири. Почти всегда длинное плечо перевѣшиваетъ короткое, такимъ образомъ, что началомъ дѣленій служитъ собственно не точка привѣса, но другая точка, ближайшая къ мѣсту привѣса чашъ. На фиг. 335-й представленъ родъ римскихъ вѣсовъ наиболѣе встрѣчаемыхъ нынѣ въ торговлѣ при большихъ взвѣшиваніяхъ. Вѣсы эти снабжены двумя стержнями, позволяющими измѣнять точку привѣса посредствомъ простаго оборота ихъ. Вслѣдствіе того, какъ на верхней, такъ и на нижней части ихъ означены дѣленія.

Фиг. 334 и 335.



Въ общежитіи нерѣдко встрѣчается родъ вѣсовъ, состоящихъ изъ рычага съ подвижною точкою опоры (фиг. 336*a*). На одномъ концѣ этихъ вѣсовъ находится постоянная гиря, а на другомъ крючекъ или привѣшенная чашка, на которую кладется испытуемое тѣло. Теорія этихъ вѣсовъ, называемыхъ *кантаремъ* или *датскими*, употребляемыхъ также въ Россіи, можетъ быть легко объяснена на основаніи сказаннаго нами о римскихъ вѣсахъ.

Фиг. 336*a*.



Французскій безмѣнъ (фиг. 336*b*) есть рычагъ, одинъ конецъ котораго движется по дугѣ съ дѣленіями. Послѣднія соотвѣтствуютъ вѣсу гирь, положенныхъ на чашку, которая привязана на другомъ концѣ рычага, двигающагося на оси *c*. Такъ какъ при взвѣшиваніи этимъ безмѣномъ вмѣсто гирь кладутъ на чашку испытуемыя тѣла, то его можно съ выгодою употреблять въ томъ случаѣ, когда желаютъ опредѣ-

Фиг. 336*b*.

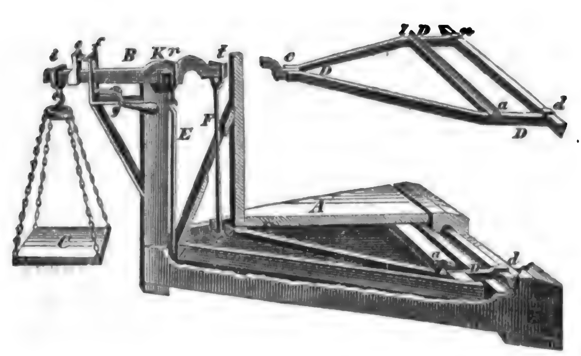


лить, безъ потери времени, вѣсъ многихъ предметовъ другъ послѣ друга, какъ это дѣлается на почтахъ съ письмами и въ прядильняхъ для сортировки пряжи. Въ послѣднемъ случаѣ, самую дугу безмѣна дѣлятъ по нумерамъ достоинства пряжи.

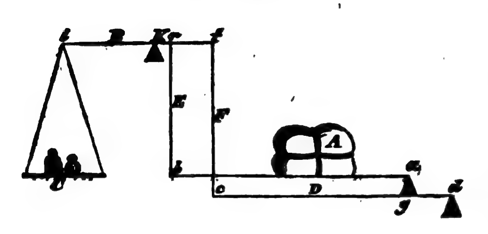
Всѣ описанные нами вѣсы удобны только для взвѣшиванія не очень объемистыхъ тѣлъ. При взвѣшиваніи же громоздскихъ вещей, необходимо давать имъ болѣе прочные размѣры и, сверхъ того, приспособлять ихъ къ удобнѣйшему помѣщенію тѣлъ на чашки вѣсовъ. Оба эти неудобства отстраняются въ такъ называемыхъ *децимальныхъ* или *мостовыхъ* вѣсахъ, изобрѣтенныхъ Ролле и Швильгомъ въ Страсбургѣ, и имѣющихъ большое примѣненіе при взвѣшиваніи пасажирскихъ тюковъ на желѣзныхъ дорогахъ.

Устройство этихъ вѣсовъ, основанное на соединеніи нѣсколькихъ рычаговъ, представлено на фигурѣ 337-й. Въ верхней части этой фигуры представленъ рычагъ *iKt*, вращающійся на точкѣ *K*; къ одному изъ плечъ его привѣшена чаша *C*, на которую кладутся гири, а на другомъ концѣ висятъ два отвѣсные шеста *E* и *F*. Шесты эти соединяются своими концами *b* и *c* съ двумя горизонтальными платформами, представленными въ разрѣзѣ (фиг. 338) линіями *ba* и *cd*, которыя вращаются на точкахъ *a* и *d*. На платформѣ *A* (фиг. 337), соотвѣтствующей линіи *ba* (фиг. 338), помѣщаются взвѣшиваемые грузы. Здѣсь должно замѣтить, что разстояніе *gd* относится къ *cd*, какъ *Kr* къ *Kt*. Положимъ, что отъ дѣйствія груза, рычагъ производитъ вращеніе на точкѣ *K*. Понятно, что тогда точка *i* поднимется, а точки *r* и *t* опустятся вмѣстѣ съ прикрѣпленными къ нимъ шестами. Если разстояніе *Kr* въ четыре раза меньше противу *Kt*, то ясно, что при движеніи линіи *Kt* точка *r* опишетъ въ четыре раза меньшій путь противу точки *t*. Какъ эти точки соединены съ точками *b* и *c*, то очевидно, что тоже самое отношеніе должно существовать и между соотвѣтственными движеніями послѣднихъ точекъ. Вслѣдствіе того точка *c* производитъ въ четыре раза большее движеніе противу точки *g*, потому что *gd* составляетъ четвертую

Фиг. 337 и 339.



Фиг. 338.



часть отъ ed. Значитъ точки b и g, а слѣдовательно и точки b и a, производятъ равной величины движенія, т. е. рычагъ ba съ положеннымъ на него грузомъ A, при вращеніи рычага iKt, опускается книзу одинаковымъ образомъ съ точкою r. Поэтому грузъ, обременяющій рычагъ ba, долженъ дѣйствовать на точку вращенія K точно также, какъ бы онъ былъ привѣшенъ къ отвѣсному шесту E или, говоря другими словами, точно также, какъ бы онъ висѣлъ непосредственно на точкѣ r. Обстоятельство это даетъ уже намъ понять, что дѣйствіе груза нисколько не зависитъ отъ мѣста, занимаемаго имъ на помостѣ ba. Движенія же точекъ r и i относятся между собою какъ длины плечъ iK къ Kr Слѣдовательно равновѣсіе между этими точками, обусловливающее равновѣсіе самаго рычага, будетъ существовать въ томъ случаѣ, когда вѣсы грузовъ чашки c и помоста ba, находятся въ обратномъ отношеніи къ плечамъ, на которыя они дѣйствуютъ. На этомъ основаніи, если Kr составляетъ $^1/_{10}$ часть отъ Ki, какъ это дѣйствительно бываетъ въ *мостовыхъ вѣсахъ*, называемыхъ поэтому децимальными, то равновѣсіе коромысла будетъ существовать въ томъ случаѣ, когда гиря чашки C составляетъ $^1/_{10}$ часть отъ вѣса груза помоста ba.

Намъ остается еще доказать болѣе строгимъ образомъ, что отношеніе между вѣсомъ гири и груза нисколько не зависитъ отъ мѣста, занимаемаго послѣднимъ на помостѣ ba. И въ самомъ дѣлѣ одна часть груза A (фиг. 338) давитъ на точку a, а другая дѣйствуетъ на точку b. Означивъ первое давленіе чрезъ q, а второе чрезъ p, мы получимъ $p+q=A$. Давленіе q, производимое на точку a, дѣйствуетъ на плечо gd рычага cd. Какъ cd въ четыре раза больше gd, то чтобы произвести одинаковое дѣйствіе на рычагъ cd, мы должны приложить къ точкѣ b, а слѣдовательно и къ r, силу въ четыре раза меньшую противу силы q, дѣйствующей на точку g. Давленіе q, дѣйствующее на точку g, будетъ въ тоже время дѣйствовать и на точку c, а поэтому и на точку t, съ силою въ четыре раза меньшею.

Значитъ на рычагъ iKt, съ правой стороны точки опоры, дѣйствуютъ двѣ силы: одна p, приложенная къ точкѣ r, и другая $\frac{q}{4}$, приложенная къ точкѣ t. Но какъ Kt въ четыре раза больше Kr, то очевидно, что сила $\frac{q}{4}$, приложенная къ t, должна дѣйствовать точно также, какъ въ четыре раза большая сила, приложенная къ r, т. е. точно также, какъ еслибы къ r былъ приложенъ грузъ $\frac{q}{4}.4=q$. Обѣ силы, приложенныя къ точкамъ r и t, дѣйствуютъ на рычагъ точно также, какъ бы къ точкѣ r была приложена сила $p+q=A$.

На фиг. 339-й верхняя часть помоста, назначеннаго для помѣщенія груза, для большей ясности означена до половины обнаженною. Рычагъ, на которомъ лежитъ этотъ помостъ, представленъ особо на фиг. 230-й.

Скажемъ теперь нѣсколько словъ о самыхъ гиряхъ, употребляемыхъ для взвѣшиванія.

При строгихъ взвѣшиваніяхъ необходимо обращать вниманіе на самую точность вѣса гирь. Для этого необходимо, чтобы гири были совершенно схожи съ образцами, или чтобы была опредѣлена въ точности разница между каждою гирею и условнымъ образцемъ. Мы укажемъ здѣсь на самый простой способъ соглашенія гирь съ соотвѣтственными имъ образцами. Гири обыкновенно бываютъ изъ чугуна, мѣди или платины и имѣютъ форму цилиндра, у котораго высота почти въ два раза болѣе основанія. Къ центру верхней поверхности каждой гири привинчивается шляпка, подъ которою внутри гири оставляется пустое мѣсто. Иногда въ нижнемъ основаніи гирь дѣлаютъ углубленія для

помѣщенія шляпокъ, что весьма важно при взвѣшиваніи, когда кладутъ одну гирю на другую.

Если находятъ, что гири вѣсятъ болѣе соотвѣтственныхъ образцовъ, то въ этомъ случаѣ подпиливаютъ ихъ до тѣхъ поръ, пока не сдѣлаютъ нѣсколько легче образцовъ; тогда опредѣляютъ съ точностію недостающій вѣсъ. Послѣ того берутъ самую тонкую серебрянную нить и опредѣляютъ вѣсъ ея по длинѣ отъ 3 до 4 футовъ. Чрезъ это можно знать, какая длина нити соотвѣтствуетъ недостающему вѣсу: эту длину нити отрѣзываютъ и помѣщаютъ въ пустомъ мѣстѣ подъ привинченной шляпкой гири.

Для избѣжанія погрѣшности прежде навинчиванія шляпки, нелишне сравнивать снова гири съ образцемъ.

Плотность тѣлъ. § 122. При показанномъ нами опредѣленіи вѣса *относительно* избранной единицы, мы не принимали во вниманіе объема тѣлъ.

Но какъ въ одномъ и томъ же объемѣ можетъ заключаться различное количество матеріи, то для сравненія массы двухъ тѣлъ, мы должны разсматривать обѣ массы относительно одинаковыхъ объемовъ. Слѣдовательно, принявъ одинъ какой либо объемъ за единицу, напр. кубическій футъ, и зная какое количество массы двухъ тѣлъ заключается въ этомъ единичномъ объемѣ, мы могли бы судить и объ самомъ отношеніи массъ.

Это количество матеріи всякаго тѣла, заключающееся въ единицѣ объема, называется, какъ мы уже сказали, *плотностію* тѣла.

Какъ на самомъ дѣлѣ нельзя опредѣлить ни для одного тѣла количества матеріи, то очевидно, что нельзя также знать и *абсолютной* или *истинной* плотности тѣлъ.

Намъ остается только судить объ *относительной плотности*, т. е. объ количествѣ матеріи, заключающейся въ извѣстномъ объемѣ тѣла относительнаго другаго тѣла, взятаго въ томъ же объемѣ за единицу.

Какъ на опытѣ не производится опредѣленія абсолютной плотности, а принимается въ разсчетъ одна относительная, то, употребляя выраженіе *плотность*, мы должны разумѣть подъ нимъ относительную плотность.

Плотности твердыхъ и жидкихъ тѣлъ обыкновенно сравниваютъ съ плотностію воды, потому что это тѣло представляется намъ, большею частію, въ одинаковомъ видѣ на различныхъ мѣстахъ земнаго шара и сверхъ того имѣетъ еще и то удобство, что можетъ быть легко взято въ одинаковомъ объемѣ съ тѣломъ, котораго плотность мы опредѣляемъ.

Слѣдовательно, когда говорятъ, что плотность цинка есть 7, то это значитъ, что при одинаковомъ объемѣ металлъ этотъ содержитъ въ 7 разъ болѣе матеріи противу воды.

Какимъ же образомъ приводится на самомъ дѣлѣ сравненіе между двумя различными количествами матеріи, заключающимися въ одинаковыхъ объемахъ?

Мы уже знаемъ, что вѣса тѣлъ пропорціональны количеству заключающейся въ нихъ матеріи. Поэтому, если одно тѣло при оди-

наковомъ объемѣ содержитъ въ два или въ три раза болѣе матеріи противу другаго тѣла, то и вѣсъ перваго долженъ быть въ два или въ три раза болѣе противу вѣса послѣдняго.

Слѣдовательно объ отношеніи плотностей мы можемъ судить по отношенію вѣса тѣлъ, взятыхъ въ одинаковыхъ объемахъ. Такимъ образомъ, желая знать плотность какого нибудь тѣла относительно плотности воды, намъ стоитъ только взять равные объемы этихъ тѣлъ: во сколько разъ вѣсъ извѣстнаго объема тѣла болѣе одинаковаго объема воды, во столько разъ очевидно и плотность его болѣе плотности воды.

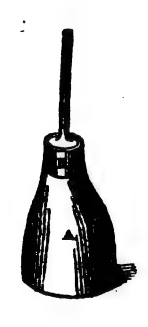
Значитъ для полученія плотности тѣла, должно взять вѣсъ одинаковыхъ объемовъ опредѣляемаго тѣла и воды, и раздѣлить вѣсъ тѣла на вѣсъ воды. Частное покажетъ намъ плотность тѣла относительно воды, принятой за единицу.

§ 123. *Отношеніе вѣса всякаго тѣла къ вѣсу одинаковаго объема воды, принято называть удѣльнымъ вѣсомъ тѣла.* Вслѣдствіе сказаннаго нами понятно, что вѣсъ этотъ для каждаго тѣла долженъ быть выраженъ тѣмъ же самымъ числомъ, которое выражаетъ плотность его относительно воды. Это показываетъ, что плотность тѣлъ относительно воды и удѣльный вѣсъ ихъ, мы можемъ принимать за выраженія однозначущія. Поэтому опредѣленіе удѣльнаго вѣса каждаго тѣла, сводится собственно на опредѣленіе числа, которымъ выражается, въ какомъ отношеніи находится вѣсъ тѣла къ вѣсу равнаго объема дистиллированной воды. Слѣдовательно для отысканія удѣльнаго вѣса тѣла, должно опредѣлить въ равныхъ объемахъ вѣсъ тѣла и вѣсъ воды, и раздѣлить первый на второй. Удѣльный вѣсъ.

§ 124. На практикѣ опредѣляютъ удѣльный вѣсъ или относительную плотность тѣлъ разными образами, изъ которыхъ мы укажемъ здѣсь на слѣдующіе. Опредѣленіе его.

1) *Для твердыхъ тѣлъ.* Сперва опредѣляютъ вѣсъ тѣла посредствомъ двойнаго взвѣшиванія; потомъ ставятъ на одну изъ чашекъ вѣсовъ тѣло возлѣ стаканчика, котораго горло и стеклянная пробка отшлифованы такимъ образомъ, что позволяютъ плотно или, какъ обыкновенно говорятъ, герметически закупоривать его (фиг. 340).

Фиг. 340.



Стаканчикъ наполняютъ очищенной или дистиллированной водой, т. е. такой водой, которая съ помощію нагрѣванія и другихъ способовъ, освобождена отъ различныхъ примѣсей, заключающихся въ ней. По наполненіи водою стаканчикъ закупоривается пробкой. На другую чашку насыпаютъ свинцовыхъ зеренъ или дроби до тѣхъ поръ, пока не возстановится равновѣсіе вѣсовъ. Тогда снимаютъ стаканчикъ и погружаютъ въ наполняющую его воду тѣло, которое на основаніи непроницаемости матеріи вытѣснитъ изъ стаканчика извѣстное количество воды.

Послѣ того закупориваютъ стаканчикъ, наблюдая, чтобы въ стаканчикѣ не оставалось воздуха, вытираютъ его на сухо снаружи и вмѣстѣ съ погруженнымъ въ немъ тѣломъ ставятъ на ту чашку вѣсовъ, на которой онъ находился прежде. Какъ вмѣсто извѣстнаго объема вытѣсненной воды въ стаканчикѣ находится тотъ же самый объемъ другаго тѣла, то очевидно, что равновѣсіе вѣсовъ должно нарушиться и вѣсъ того груза, который слѣдуетъ положить на чашку вѣсовъ возлѣ стаканчика, покажетъ намъ вѣсъ воды одинаковаго объема съ погруженнымъ тѣломъ.

Если тѣла растворяются въ водѣ, какъ напр. соль и др., то они не вытѣсняютъ равнаго имъ объема воды изъ стаканчика, въ который погружаютъ ихъ; слѣдовательно посредствомъ предъидущаго способа, мы не въ состояніи уже получать объема воды одинаковаго съ объемомъ погруженнаго тѣла. Тогда опредѣляютъ плотность тѣла относительно другой жидкости, нерастворяющей его, и потомъ сравниваютъ плотность жидкости съ перегнанной водою.

Положимъ, что при равномъ объемѣ P вѣсъ тѣла, P' — вѣсъ нерастворяющейся жидкости, а P''—вѣсъ воды. Какъ удѣльный вѣсъ есть частное, происходящее отъ раздѣленія вѣса тѣла на вѣсъ равнаго объема жидкости, относительно которой мы опредѣляемъ удѣльный вѣсъ, то $\frac{P}{P'}$ будетъ удѣльный вѣсъ тѣла относительно нерастворяющей жидкости, а $\frac{P'}{P''}$ будетъ удѣльный вѣсъ нерастворяющей жидкости относительно воды. Перемноживъ эти дроби и выключивъ общую величину P', мы получимъ дробь $\frac{P}{P''}$, которая представляетъ удѣльный вѣсъ тѣла относительно воды.

Если тѣло заключаетъ въ себѣ много поръ, какъ напр. нѣкоторые роды угля, то опредѣляютъ удѣльный вѣсъ или сохраняя кажущійся объемъ его, или освобождая его отъ поръ. Въ первомъ случаѣ взвѣшиваютъ сперва тѣло, потомъ покрываютъ его самымъ тонкимъ слоемъ воска, который закрываетъ поры снаружи, не измѣняя при томъ замѣтнымъ образомъ его объема. Тогда опредѣляютъ посредствомъ стаканчика вѣсъ равнаго ему по объему количества воды. Во второмъ случаѣ превращаютъ тѣло въ порошокъ и поступаютъ потомъ описаннымъ нами образомъ.

Опредѣленіе удѣльнаго вѣса твердыхъ тѣлъ и въ особенности тѣлъ, имѣющихъ порошкообразный видъ, очевидно можетъ быть произведено съ точностію только въ томъ случаѣ, если во время погруженія ихъ въ воду стаканчика мы удалимъ воздухъ, обыкновенно пристающій къ поверхности этихъ тѣлъ, потому что этотъ воздухъ самъ долженъ вытѣснить извѣстное количество воды, независимо отъ того, которое изгоняется тѣломъ. Для устраненія этого прибѣгаютъ къ пособію воздушнаго насоса или прибора, посредствомъ котораго, какъ мы увидимъ впослѣдствіи, освобождаютъ всякое пространство отъ заключающагося въ немъ воздуха. Стаканчикъ вмѣстѣ съ водою и погруженнымъ въ нее тѣломъ ставятъ подъ стеклянный

колоколъ, изъ котораго извлекаютъ воздухъ. Частицы воздуха, находящіяся между частицами твердаго тѣла, вслѣдствіе упругости своей стремятся къ занятію того пространства подъ колоколомъ, которое освобождено отъ заключавшагося въ немъ воздуха. По удаленіи воздуха изъ поръ тѣла берутъ стаканчикъ изъ подъ колокола, пополняютъ водою то пространство, которое было занято прежде воздухомъ, находившимся между порами тѣла, ставятъ стаканчикъ на чашку вѣсовъ для опредѣленія вѣса воды, изгнанной тѣломъ. Того же самаго результата достигаютъ посредствомъ нагрѣванія воды, въ которую погружено тѣло. Теплота въ этомъ случаѣ расширяетъ воду, твердое тѣло и заключающійся между его частицами воздухъ. Но какъ газообразныя тѣла расширяются болѣе противу твердыхъ и жидкихъ, то понятно, что по расширеніи своемъ, воздухъ не можетъ уже помѣщаться въ томъ пространствѣ, въ которомъ онъ заключался до увеличенія своего объема. Обладая упругостію, онъ стремится по мѣрѣ своего расширенія къ постепенному занятію большаго пространства и освобождаетъ такимъ образомъ отъ своего присутствія какъ твердое тѣло, такъ и воду. Какъ жидкость отъ нагрѣванія приняла также бо́льшій объемъ, то ее охлаждаютъ и по охлажденіи дополняютъ водою, какъ и въ предъидущемъ случаѣ, пространство, занимаемое прежде воздухомъ, закупориваютъ стаканчикъ и опредѣляютъ вѣсъ вытѣсненной воды. Способъ этотъ наиболѣе употребителенъ, потому что воздухъ пристаетъ сильно къ частицамъ твердаго тѣла и никогда не оставляетъ ихъ совершенно послѣ нахожденія тѣла подъ колоколомъ, изъ котораго извлеченъ воздухъ. Въ справедливости этого можно легко убѣдиться, подвергнувъ нагрѣванію стаканчикъ съ водою послѣ нахожденія его подъ колоколомъ насоса, мы увидимъ послѣ нагрѣванія, что объемъ воды уменьшится, а это значитъ, что нагрѣваніемъ изгнано изъ поръ тѣла извѣстное количество воздуха.

Какъ всѣ тѣла измѣняютъ свой объемъ вмѣстѣ съ перемѣною ихъ температуры и какъ твердыя тѣла при однихъ и тѣхъ же обстоятельствахъ расширяются менѣе противу жидкихъ, то очевидно, что удѣльный вѣсъ всякаго твердаго тѣла относительно воды, не остается постояннымъ при измѣненіи температуры и поэтому необходимо знать температуру, при которой получаютъ удѣльный вѣсъ всякаго тѣла. Обыкновенно (кромѣ случаевъ, о которыхъ всегда должно упоминать) твердое тѣло берутъ при температурѣ плавленія льда, а воду при температурѣ 4° Ц, потому что при этой температурѣ, какъ мы увидимъ впослѣдствіи, вода имѣетъ наибольшую плотность.

Слѣдовательно удѣльный вѣсъ всякаго тѣла относительно воды, есть отношеніе вѣса тѣла къ вѣсу равнаго объема воды, при чемъ тѣло принимается при 0°, а вода при 4° Ц. Замѣчаніе это относится также и къ жидкимъ тѣламъ.

Если при опытахъ и не берутъ этихъ различныхъ температуръ, а производятъ опредѣленіе удѣльнаго вѣса при одной температурѣ, то

для удовлетворенія приведенному условію прибѣгаютъ къ помощи вычисленій, которыя будутъ показаны нами въ статьѣ о теплотѣ.

Мы ограничиваемся здѣсь приведенными способами опредѣленія удѣльнаго вѣса тѣлъ, потому что другіе пріемы могутъ быть изложены впослѣдствіи, когда мы ознакомимся ближе со свойствами жидкихъ тѣлъ.

2) *Для жидкихъ тѣлъ.* Наполняютъ небольшой стаканчикъ жидкостію, удѣльный вѣсъ которой желаютъ опредѣлить; закупориваютъ стаканчикъ; обтираютъ его и ставятъ на одну изъ чашекъ вѣсовъ, уравновѣшивая другую чашку дробью. Послѣ того освобождаютъ отъ жидкости стаканчикъ, ставятъ снова на чашку и нагружаютъ ее гирями до тѣхъ поръ, пока не возстановится равновѣсіе вѣсовъ; такимъ образомъ получаютъ вѣсъ наполнявшей его жидкости. Точно также получаютъ вѣсъ равнаго объема воды. Получивъ такимъ образомъ вѣсъ одинаковыхъ объемовъ воды и опредѣляемой жидкости, намъ не трудно будетъ найти удѣльный вѣсъ послѣдней, раздѣливши вѣсъ жидкости на вѣсъ воды.

Часто для жидкостей употребляютъ стеклянный приборъ, представленный на фиг. 341. Горло этого прибора состоитъ изъ узкой продолговатой трубки, оканчивающейся уширеннымъ отверстіемъ, которое служитъ и воронкой. На трубкѣ проведена снаружи черта, посредствомъ которой приводятъ къ равному объему жидкости, наполняющія приборъ. Чтобы этотъ объемъ былъ одинаковъ при обоихъ взвѣшиваніяхъ, производятъ послѣдовательное наполненіе прибора опредѣляемою жидкостію и водою въ особой банѣ, которой температура должна быть постоянна. При этомъ весьма выгодно, для сокращенія вычисленій, употреблять стаканчикъ, вмѣщающій въ себѣ ровно 1000 грановъ воды. Число грановъ, полученное отъ взвѣшиванія жидкости въ такомъ стаканчикѣ, показываетъ прямо относительный вѣсъ ея. Такъ напр. если спиртъ, наполняющій стаканчикъ, вѣситъ 791 гранъ, то относительный вѣсъ его $= \frac{791}{1000}$ или 0,791 гр.

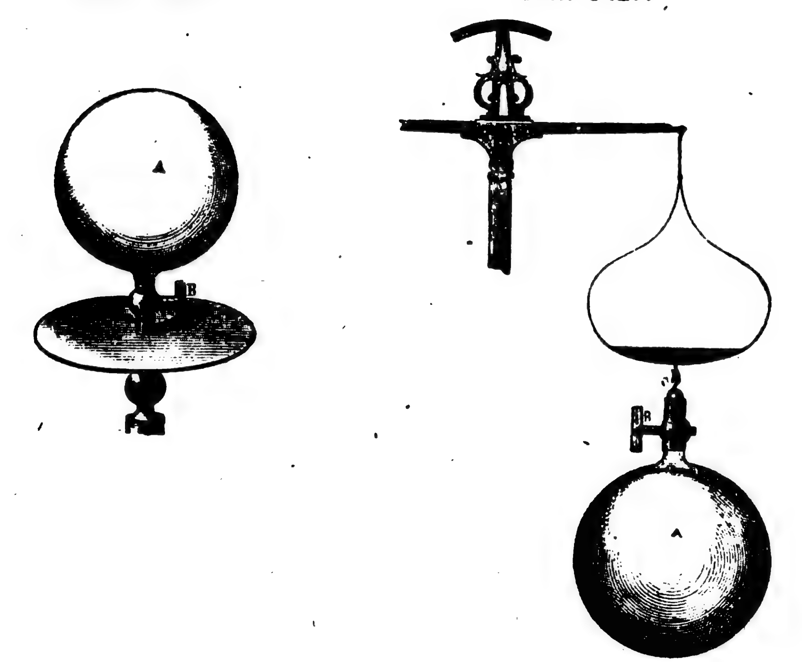
Фиг. 341.



3) *Для тѣлъ газообразныхъ.* Удѣльный вѣсъ газовъ, какъ мы уже говорили, опредѣляется относительно воздуха. Для полученія удѣльнаго вѣса газа, раздѣляютъ вѣсъ какого нибудь объема опредѣляемаго газа на вѣсъ равнаго объема воздуха. Опредѣленіе вѣса обоихъ газовъ производится одинаковымъ образомъ какъ и для жидкостей. Вся разница заключается въ различіи прибора, въ которомъ взвѣшиваются газы, и въ способѣ наполненія прибора. Вмѣсто стакан-

чика берутъ стеклянный шаръ *A* (фиг. 342*a*). Какъ вѣсъ воздуха

Фиг. 342a. *Фиг. 342b.*



значительно легче относительно твердыхъ тѣлъ, то чтобы обнаружить чувствительнѣе вѣсъ его, дѣлаютъ шаръ изъ тонкаго стекла и даютъ ему по возможности большій объемъ. Шаръ снабжается небольшимъ горломъ, къ которому придѣлана металлическая шейка, запирающаяся плотно посредствомъ поворота особеннаго устройства крана. Сперва взвѣшиваютъ шаръ наполненный воздухомъ, послѣ того извлекаютъ изъ него воздухъ посредствомъ воздушнаго насоса и взвѣсивъ пустой шаръ, получаютъ вѣсъ наполнявшаго его воздуха.

Подобнымъ же образомъ получаютъ въ томъ же объемѣ вѣсъ газа, сравниваемаго съ воздухомъ. Имѣя въ виду показать въ общихъ чертахъ опредѣленіе удѣльнаго вѣса газовъ, мы даемъ здѣсь только понятіе о взвѣшиваніи ихъ и оставляемъ безъ вниманія тѣ частные пріемы и обстоятельства, которые должны быть соблюдаемы при подобномъ взвѣшиваніи. Обстоятельства эти будутъ нами развиты впослѣдствіи послѣ изложенія законовъ, на которыхъ они основаны.

Чтобы найти удѣльный вѣсъ газовъ относительно воды, стоитъ только помножить удѣльный вѣсъ ихъ относительно воздуха на удѣльный вѣсъ воздуха относительно воды. Положимъ, что удѣльный вѣсъ какого нибудь газа въ два раза менѣе вѣса одинаковаго съ нимъ объема воздуха. Если этотъ объемъ воздуха вѣситъ въ два раза менѣе одинаковаго объема воды, то ясно, что вѣсъ перваго газа будетъ въ 2×2 или въ четыре раза легче воды.

Таблица удѣльнаго вѣса наиболѣе употребительныхъ тѣлъ приложена въ концѣ книги.

Покажемъ въ общихъ чертахъ отношеніе между *вѣсомъ*, *объемомъ* и *плотностію*.

Вѣсъ всякаго тѣла получается въ томъ случаѣ, когда извѣстны его объемъ и плотность относительно воды. Положимъ, мы имѣемъ объемъ воды, вмѣщающій V кубическихъ сантиметровъ; вѣсъ его будетъ V граммовъ, потому что каждый кубическій сантиметръ воды вѣситъ граммъ. Если взять тѣло въ D разъ большей плотности, то вѣсъ его увеличится въ D разъ и будетъ поэтому равенъ числу граммовъ, выраженному произведеніемъ VD. Слѣдовательно, назвавъ чрезъ P вѣсъ, мы будемъ имѣть $P=VD$. Значитъ, вѣсъ тѣла получается отъ умноженія его объема на плотность, при чемъ должно всегда приводить вѣсъ, объемъ и плотность къ ихъ соотвѣтственнымъ единицамъ. Плотность приводится всегда къ водѣ, объемъ къ кубическому сантиметру и какъ кубическій сантиметръ воды принято называть граммомъ, то при этомъ способѣ опредѣленія вѣсъ долженъ быть выраженъ въ граммахъ. При другой единицѣ плотности, очевидно, и самый вѣсъ тѣла выразится въ другой единицѣ.

Изъ уравненія $P=VD$, мы имѣемъ $V=\frac{P}{D}$, т. е. что объемъ тѣла равенъ вѣсу, раздѣленному на его плотность. Поэтому, зная плотность тѣла и опредѣливъ его вѣсъ посредствомъ взвѣшиванія, мы можемъ получить объемъ тѣла, въ которомъ частицы матеріи распредѣлены равномѣрно.

Изъ уравненія $P=VD$, мы имѣемъ $V=\frac{P}{D}$, т. е. что плотность тѣла относительно воды равна его вѣсу, раздѣленному на его объемъ. Поэтому удѣльный вѣсъ всякаго тѣла, также какъ и его относительная плотность, есть отношеніе вѣса тѣла къ его объему или, говоря другими словами, вѣсъ единицы объема.

Чтобы найти уравненіе для абсолютной плотности, положимъ, что V есть объемъ тѣла, M количество заключающейся въ немъ матеріи или масса его, а D количество матеріи въ единицѣ объема или абсолютная плотность его; понятно, что для полученія количества матеріи, заключающейся въ объемѣ V, должно помножить V на D; откуда $M=VD$. Изъ этого уравненія мы имѣемъ $D=\frac{M}{V}$, т. е. что *абсолютная плотность есть отношеніе массы къ объему*.

Покажемъ теперь уравненіе для абсолютнаго вѣса. Говоря о вѣсѣ тѣлъ, мы доказали, что мѣрою P служитъ произведеніе Mg, въ которомъ M означаетъ массу, пропорціональную вѣсу его, а g напряженіе тяжести на опредѣленномъ мѣстѣ; т. е. $P=Mg$. Замѣнивъ M равною ему величиною VD, получимъ $P=VDg$ — полное выраженіе абсолютнаго вѣса. Для другаго тѣла, котораго вѣсъ, плотность и объемъ выражаются буквами P', V' и D', получимъ также $P'=V'D'g$. При $D=D$ будемъ имѣть $P:P'=V:V'$, а при $P=P'$ получимъ $VD=V'D'$, откуда $V:V'=D':D'$. Изъ первой пропорціи мы можемъ заключить, что при *равной плотности*, *вѣса пропорціональны объемамъ*, а изъ второй — что при *равномъ вѣсѣ объемы обратно пропорціональны плотностямъ*.

Свободное паденіе тѣлъ.

§ 125. Тяжесть, какъ мы уже говорили, есть притяженіе между частицами земли и частицами отдѣльныхъ отъ ней тѣлъ. Равное дѣйствіе тяжести на свободно падающія тѣла

Какъ величина этого притяженія зависитъ отъ числа частицъ дѣйствующихъ другъ на друга и какъ массы всѣхъ тѣлъ, находящихся на земной поверхности можно принять за безконечно малыя сравнительно съ массою всего земнаго шара, то и притягательная сила ихъ можетъ быть прянята нами за безконечно малую въ отношеніи къ притягательной силѣ земли. Вслѣдствіе того всѣ тѣла, поднятыя кверху и предоставленныя самимъ себѣ, должны падать снова на землю.

Наблюдая за движеніемъ различныхъ тѣлъ, падающихъ къ землѣ, не трудно замѣтить различіе скорости ихъ паденія. Такъ напр свинцовая пуля падаетъ очень быстро, а кусокъ бумаги весьма медленно. Причину этого явленія, извѣстнаго почти каждому, не должно полагать въ томъ, что бумага легче свинца. И въ самомъ дѣлѣ, таже самая свинцовая пуля, вытянутая посредствомъ молота въ тонкій листъ будетъ падать также медленно, какъ и обыкновенный листъ бумаги, не взирая на то, что при этомъ измѣненіи вида пуля нисколько не потеряла въ своемъ вѣсѣ; листъ же бумаги свернутый въ трубку упадетъ скорѣе нежели въ томъ случаѣ, когда онъ имѣетъ продолговатую форму. Паденіе листа будетъ еще быстрѣе, если мы свернемъ его въ небольшой комокъ имѣющій шарообразную форму. Понятно, что во всѣхъ этихъ случаяхъ вѣсъ бумаги остается одинъ и тотъ же; слѣдовательно нельзя допустить, чтобы различіе вѣса могло служить причиною различія замѣчаемаго нами въ скоростяхъ паденія тѣлъ.

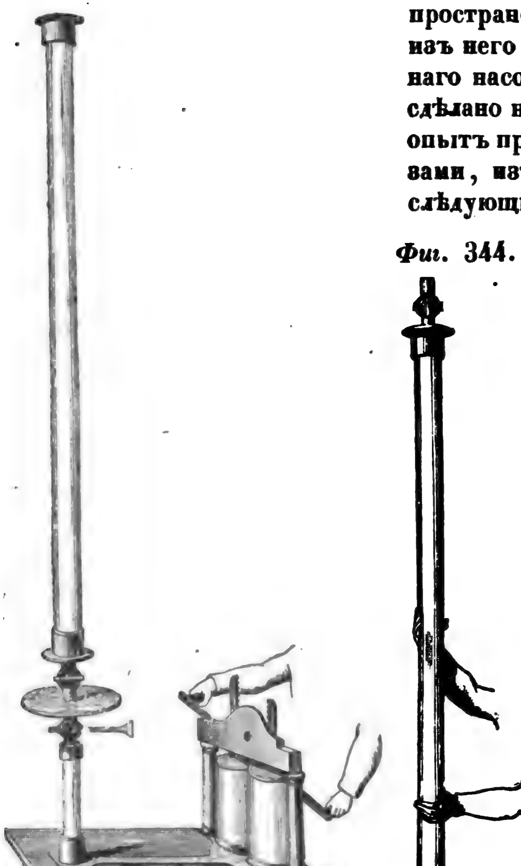
Справедливость этого заключенія можетъ быть также подтверждена слѣдующимъ разсужденіемъ. Притягательная сила земли дѣйствуетъ съ одинаковымъ напряженіемъ на каждую матеріяльную частицу. Положимъ, что двѣ совершенно равныя частицы матеріи находятся въ одинаковомъ разстояніи надъ поверхностію земли. Понятно, что вслѣдствіе одинаковаго дѣйствія тяжести онѣ должны падать съ одинаковою скоростію. Точно также мы имѣемъ право заключить, что и тысяча отдѣльныхъ частицъ матеріи должны удовлерять тому же самому условію. Условіе это конечно нисколько не измѣнится въ томъ случаѣ, если бы тысяча этихъ частицъ, вмѣсто разъединеннаго расположенія въ пространствѣ, были соединены между собою какою нибудь связію, такъ наприм. если бы онѣ были сгруппированы силою сцѣпленія въ одну или нѣсколько отдѣльныхъ массъ.

Основываясь на этомъ, извѣстный италіянскій ученый Галилей, занимавшій въ концѣ XVI вѣка каѳедру математики въ пизскомъ университетѣ, первый опровергъ укоренившееся до него мнѣніе древнихъ, полагавшихъ, что скорость падающаго тѣла должна быть тѣмъ значительнѣе, чѣмъ болѣе его вѣсъ. Чтобы доказать опытомъ, что тяжесть дѣйствуетъ одинаково на всѣ тѣла, онъ сдѣлалъ нѣ-



сколько совершенно одинаковыхъ шариковъ изъ различныхъ веществъ—изъ золота, свинца, мѣди, порфира и воска и опустилъ ихъ одновременно съ вершины высокой колокольни въ Пизѣ. Оказалось, что всѣ они упали на землю въ одно время, кромѣ восковаго шарика, замедленіе котораго было впрочемъ весьма незначительно въ сравненіи съ разностію вѣса его относительно другихъ шариковъ. Встрѣчаемое же нами различіе въ паденіи тѣлъ происходитъ отъ того, что всякое тѣло при паденіи должно раздвигать въ сторону частицы окружающаго его воздуха. Чѣмъ значительнѣе объемъ тѣла, тѣмъ очевидно и большій столбъ воздуха предстоитъ ему раздвигать при своемъ паденіи: всякому извѣстно, что свернутый зонтикъ падаетъ на землю скорѣе распущеннаго, хотя въ обоихъ этихъ случаяхъ вѣсъ зонтика остается одинъ и тотъ же.

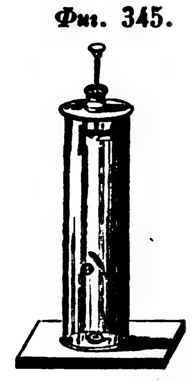
Поэтому, чттобы опредѣлить истинную скорость паденія тѣлъ, необходимо производить ихъ паденіе въ пространствѣ незаключающемъ воздуха. Для полученія такого пространства обыкновенно извлекаютъ изъ него воздухъ съ помощію воздушнаго насоса, описаніе котораго будетъ сдѣлано нами впослѣдствіи. Самый же опытъ производятъ различными образами, изъ которыхъ мы укажемъ на слѣдующіе.



Фиг. 343. *Фиг.* 344.

Берутъ стеклянную трубку отъ 8-ми до 10-ти футовъ въ длину и около 3-хъ вершковъ въ поперечникѣ; въ эту трубку помѣщаютъ различныя вещества, какъ напр. металлическія монеты, бумагу, пухъ и др., и посредствомъ насоса извлекаютъ изъ нея воздухъ (фиг. 343). Опрокидывая трубку такимъ образомъ, чтобы нижнее дно ея приходилось вверху и на оборотъ (фиг. 344), не трудно замѣтить, что болѣе плотнѣйшія тѣла будутъ падать гораздо скорѣе легчайшихъ. Но если извлечь изъ трубки воздухъ съ помощію воздушнаго насоса, то при опрокидываніи ея мы найдемъ, что всѣ различныя вещества будутъ падать одновременно книзу.

Фиг. 345.



Тотъ же самый опытъ производятъ въ физическихъ кабинетахъ съ помощію прибора, представленнаго на фиг. 345. Тѣла, опускаемыя книзу, кладутся въ этомъ приборѣ на небольшую дощечку, которая посредствомъ подвижнаго стержня, утвержденнаго въ верхней части прибора, опускается книзу и даетъ чрезъ то возможность тѣламъ начинать свое паденіе одновременно.

Изъ этихъ опытовъ слѣдуетъ, что если тяжесть дѣйствуетъ одна, безъ участія сопротивленія воздуха, то дѣйствіе ея совершается съ одинаковою силою на всѣ тѣла, не взирая ни на внутренній ихъ составъ, ни на физическія свойства.

Чтобы уничтожить всякое сомнѣніе на счетъ этого предмета, положимъ, что въ стеклянную трубку помѣщены равные по объему куски свинца и пробки. При равномъ объемѣ свинецъ вѣситъ почти въ тридцать разъ болѣе противу пробки, слѣдовательно массы этихъ веществъ будутъ относиться между собою какъ 30 къ 1, такъ что если въ кускѣ пробки заключается 100 частицъ матеріи, то въ кускѣ свинца должно заключаться ихъ 3000. Не взирая на это различіе массъ, оба эти тѣла должны падать съ одинаковою скоростію въ трубкѣ, изъ которой извлеченъ воздухъ. И въ самомъ дѣлѣ, земля дѣйствуетъ отдѣльно на каждую матеріяльную частицу; слѣдовательно усиліе, производимое ею для притяженія этихъ двухъ тѣлъ, будетъ прямо пропорціонально числу заключающихся въ нихъ частицъ или, говоря другими словами, прямо пропорціонально ихъ массѣ. Поэтому напряженіе тяжести для перваго тѣла можетъ быть выражено числомъ 3000, а для втораго числомъ 100. Понятно, что дѣйствіе производимое обоими этими напряженіями будетъ одно и тоже, если первое изъ нихъ приложить къ тѣлу заключающему 3000, а второе къ тѣлу заключающему 100 частицъ матеріи. Значитъ свинецъ и пробка должны падать съ одинаковою скоростію, въ томъ случаѣ, если ничто не препятствуетъ ихъ паденію. Вслѣдствіе того они должны въ одинаковое время совершать путь, означаемый длиною трубки, изъ которой извлеченъ воздухъ.

Положимъ теперь, что воздухъ, наполняющій трубку, представляетъ сопротивленіе, способное уменьшить для каждаго тѣла дѣйствіе тяжести на величину, которую мы выразимъ числомъ 50: пробка, притягиваемая напряженіемъ тяжести равнымъ 100, очевидно будетъ покоряться дѣйствію только половинной силы, между тѣмъ какъ свинецъ, притягиваемый напряженіемъ равнымъ 3000, потеряетъ только 60 часть, дѣйствующей на него силы. Понятно, что послѣднее тѣло будетъ менѣе замедлено въ своемъ паденіи и потому упадетъ скорѣе пробки.

Кто не имѣетъ въ своемъ распоряженіи воздушнаго насоса, тотъ можетъ убѣдиться въ томъ, что тѣла безъ сопротивленія воздуха должны

падать одновременно, посредствомъ слѣдующаго простаго опыта. Стоитъ взять металлическую монету: серебрянный рубль или три копейки серебромъ и положить на монету одинаковаго съ нею діаметра бумажный кружокъ; потомъ опускаютъ оба тѣла съ высоты пяти или шести футовъ. Чрезъ это бумажный кружокъ, положенный на монету, будетъ непосредственно избавленъ отъ сопротивлѐнія воздуха и мы увидимъ, что во все время паденія онъ не оставитъ монету и упадетъ книзу одновременно съ нею. Но противъ этого опыта можно сдѣлать одно замѣчаніе: при паденіи монеты постоянно образуется надъ верхнею частію ея пустота, занимаемая тотчасъ окружающимъ воздухомъ, давленіе котораго удерживаетъ бумагу въ прикосновеніи съ монетою.

Законы свободнаго паденія и повѣрка ихъ. § 126. Какъ всѣ тѣла, не взирая на различіе ихъ массъ, падаютъ съ одинаковою скоростію, то необходимо опредѣлить величину общей скорости, соотвѣтствующей паденію всякаго, произвольно взятаго, тѣла и вмѣстѣ съ тѣмъ найти отношеніе между пространствомъ пройденнымъ падающимъ тѣломъ и временемъ, употребленнымъ имъ на прохожденіе этого пространства.

Представимъ себѣ, что съ какой нибудь высоты опущенъ камень и что непосредственно за первымъ моментомъ его паденія сила тяжести прекращаетъ свое дѣйствіе. Не взирая на это, камень будетъ продолжать свое паденіе вслѣдствіе перваго толчка, сообщеннаго ему тяжестію, а мы знаемъ, что тѣло, однажды приведенное въ движеніе стремится, по инерціи, къ сохраненію той скорости, которую оно имѣло въ моментъ прекращеніи дѣйствія силы. Слѣдовательно въ предположенномъ нами случаѣ, камень долженъ бы двигаться со скоростію равномѣрною.

Но сдѣланное нами предположеніе не можетъ существовать на самомъ дѣлѣ. Нѣтъ никакой причины допустить, чтобы дѣйствіе тяжести совершалось только въ одинъ первый моментъ движенія; ясно, что сила эта дѣйствуетъ на тѣло во все время его паденія, сообщая ему, такъ сказать, въ каждое мгновеніе новые толчки, служащіе причиной постояннаго увеличенія скорости. Какъ дѣйствіе тяжести на незначительномъ разстояніи отъ земли, мы можемъ принять за величину постоянную, то очевидно, что всѣ эти толчки должны быть одинаковаго напряженія. Эти равные толчки, дѣйствуя послѣдовательно одинъ за другимъ, очевидно подкрѣпляютъ другъ друга и служатъ причиною того, что скорость падающаго тѣла должна быть *равномѣрноускоренная*.

Изслѣдуя равномѣрноускоренное движеніе, мы вывели слѣдующіе законы: во первыхъ, *конечныя скорости, пріобрѣтаемыя тѣлами, пропорціональны временамъ движенія*, во вторыхъ, *если раздѣлить продолженіе цѣлаго движенія на послѣдовательный рядъ равныхъ частицъ времени, 1, 2, 3, 4 и т. д. (напр. секундъ), то пространства, проходимыя въ каждую изъ этихъ, слѣдующихъ другъ за другомъ, частицъ времени, будутъ относиться между собою какъ рядъ нечетныхъ*

чиселъ 1, 3, 5, 7 и д. т. Въ третьихъ, *пространства, проходимыя тѣлами по прошествіи извѣстныхъ временъ, относятся между собою какъ квадраты временъ, употребленныхъ на движеніе.*

Но для удостовѣренія въ томъ, что тяжесть производитъ въ дѣйствительности равноускоренное движеніе, намъ должно доказать на опытѣ, что свободное паденіе тѣлъ совершается по общимъ законамъ равноускореннаго движенія.

Желая повѣрить эти законы непосредственнымъ наблюденіемъ надъ паденіемъ тѣлъ, мы встрѣчаемъ слѣдующія затрудненія.

Подъ конечными скоростями, какъ мы уже говорили, должно разумѣть скорости, которыми обладаютъ тѣла по прекращеніи дѣйствія на нихъ силы, т. е. то число футовъ или дюймовъ или др. мѣры, которые проходятъ тѣла равномѣрнымъ движеніемъ вслѣдствіе инерціи. Понятно, что повѣрка законовъ скоростей при обыкновенномъ паденіи могла быть произведена только въ томъ случаѣ, если бы мы въ состояніи были прекратить по произволу дѣйствіе тяжести въ тотъ моментъ, для котораго мы опредѣляемъ скорость, потому что только въ этомъ случаѣ тѣло могло бы производить послѣ этого момента равномѣрное движеніе, которымъ опредѣляется конечная скорость.

Другое неудобство мы должны встрѣтить при повѣркѣ закона опредѣляющаго отношеніе между пространствами, пройденными тѣломъ по прошествіи извѣстныхъ временъ. Положимъ, что этотъ законъ согласуется съ дѣйствіемъ тяжести и допустимъ, что тѣло, падая секунду, проходитъ 16 футовъ (что впослѣдствіи будетъ нами доказано на самомъ дѣлѣ). Какъ пространства, проходимыя тѣлами на основаніи этого закона, должны относиться между собою какъ квадраты временъ, то очевидно, что въ двѣ секунды тѣло пройдетъ 16 фут увеличенныхъ на квадратъ 2 или на 4, т. е. 64 фута, точно также въ 3 секунды оно пройдетъ въ 9 разъ большее пространство противу первой секунды, т. е. 144 фута, а въ четыре секунды 256 футовъ. Слѣдовательно для того, чтобы имѣть возможность наблюдать эти явленія только четыре секунды необходимо опустить тѣло съ высоты по крайней мѣрѣ въ 256 футовъ. Но кромѣ того вѣрная оцѣнка пространствъ проходимыхъ падающимъ тѣломъ, затрудняется быстротою самаго движенія: опытъ показываетъ, что скорость падающаго тѣла по прошествіи секунды равна 32 футамъ, по прошествіи двухъ секундъ скорость эта будетъ уже равняться 64 футамъ въ секунду, а по окончаніи четырехъ секундъ будетъ простираться до 120 футовъ въ секунду. Слѣдовательно, если при подобной быстротѣ движенія мы сдѣлаемъ погрѣшность при опредѣленіи времени паденія, то погрѣшность эта будетъ еще чувствительнѣе при оцѣнкѣ пространствъ, которыя на основаніи законовъ равноускореннаго движенія относятся между собою какъ квадраты временъ.

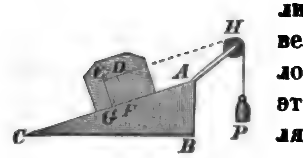
Причины эти заставляютъ насъ для изслѣдованія на опытѣ законовъ свободнаго паденія обратиться къ пособію различныхъ приборовъ, которые бы позволяли намъ замедлить паденіе, нисколько не

измѣняя напряженія тяжести на наклонной плоскости. Чтобы достигнуть этой цѣли Галилей производилъ паденіе тѣлъ по *плоскости наклонной* къ линіи паденія.

Если тѣло, на которое дѣйствуетъ одна или нѣсколько силъ, опирается на неподвижную плоскость, то оно будетъ оставаться въ покоѣ въ томъ случаѣ, когда направленіе равнодѣйствующей силы перпендикулярно къ плоскости. Совсѣмъ другое происходитъ въ томъ случаѣ, когда направленіе равнодѣйствующей наклонно къ плоскости.

Положимъ, что *AC* (фиг. 346) представляетъ наклонную плоскость, на которую положено какое нибудь тѣло, и что линія *DG* означаетъ какъ направленіе, такъ и величину тяжести, дѣйствующей на тѣло въ положеніи наклонномъ къ плоскости *AC*. Разлагая эту силу на двѣ другія: одну *DF*, перпендикулярную къ направленію наклонной плоскости *AC*, а другую *ED*, параллельную къ этому направленію, мы найдемъ, что первая часть встрѣтитъ сопротивленіе со стороны плоскости и произведетъ на него извѣстное давленіе, между тѣмъ какъ вторая будетъ стремиться скатывать тѣло книзу. Сравнимъ теперь силу, производящую это движеніе, съ цѣлымъ напряженіемъ тяжести, дѣйствующимъ на тѣло по отвѣсному направленію. Какъ дѣйствіе тяжести *DG* на тѣло не зависитъ отъ положенія наклонной плоскости, то очевидно, что на всѣхъ точкахъ послѣдней величина и направленіе тяжести будутъ оставаться постоянными. Поэтому та часть тяжести *ED*, которая скатываетъ тѣло книзу, будетъ сохранять одну и туже величину во все время скатыванія тѣла по наклонной плоскости.

Фиг. 346.



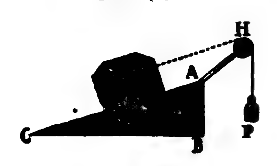
Слѣдовательно, раздѣливъ время движенія тѣла на безконечное число равныхъ моментовъ, мы имѣемъ право заключить, что въ продолженіи этихъ моментовъ тѣло пріобрѣтаетъ равныя ускоренія. Понятно, что при этихъ условіяхъ движеніе его будетъ равноускоренное.

Чтобы найти отношеніе послѣдняго движенія къ тому, которое бы пріобрѣло тѣло при свободномъ паденіи вслѣдствіе полнаго дѣйствія тяжести, должно найти отношеніе между полнымъ дѣйствіемъ тяжести *DG* и той силой *ED*, которая скатываетъ тѣло по наклонной плоскости. Сила *ED* есть одна изъ составляющихъ силы *DG* и потому очевидно менѣе послѣдней. Это показываетъ, что равноускоренное движеніе, совершаемое по наклонной плоскости, вслѣдствіе уменьшеннаго дѣйствія тяжести на тѣло должно совершаться медленнѣе, нежели въ томъ случаѣ, когда бы тѣло было подвержено полному напряженію тяжести. Понятно, что послѣднее движеніе будетъ во столько разъ скорѣе движенія по наклонной плоскости, во сколько разъ полное дѣйствіе тяжести болѣе той силы, которая скатываетъ тѣло по плоскости. Значитъ вопросъ приводится къ тому, чтобы найти отношеніе между этими силами.

Въ механикѣ же мы доказали, что сила, скатывающая тѣло по плоскости, будетъ составлять тѣмъ меньшую часть отъ полнаго напряженія тяжести, чѣмъ менѣе плоскость наклонна къ горизонту. Примѣняя къ этому случаю извѣстный законъ механики—на сколько выигрывается въ силѣ, на столько теряется въ скорости, — мы легко поймемъ, что съ уменьшеніемъ наклоненія плоскости, скорость скатывающагося по ней тѣла будетъ уменьшаться.

Болѣе точное опредѣленіе отношенія между полнымъ напряженіемъ и силой, скатывающей тѣло по плоскости, мы можемъ найти съ помощію простаго вычисленія. Изъ подобія треугольниковъ *DEG* и *ABC* (фиг. 347), у которыхъ соотвѣтственные углы равны, мы можемъ вывести отношеніе $ED:DG = AB:AC$. *AB* есть высота наклонной плоскости, а *AC* ея длина; назвавъ первую чрезъ h, а второе чрезъ l, получимъ $ED:DG=h:l$, или $\frac{ED}{DG}=\frac{h}{l}$, откуда *ED*, т. е. *величина силы скатывающей тѣло по плоскости* будетъ равна $\frac{h}{l} \times DG$. Разсматривая последнее уравненіе не трудно вывести слѣдующее заключеніе: если высота плоскости h будетъ въ 2, 3, 4,.. разъ менѣе противу длины ея l, то и сила *ED* будетъ въ 2, 3, 4,.. раза менѣе противу полнаго напряженія тяжести *DG*. Длина же наклонной плоскости, какъ показываетъ одно внимательное разсмотрѣніе чертежа, находится въ полной зависимости отъ угла ея наклоненія къ горизонту. Слѣдовательно, уменьшая уголъ, составляемый плоскостію съ горизонтомъ, мы можемъ по произволу уменьшать и самую скорость скатыванія тѣла по плоскости.

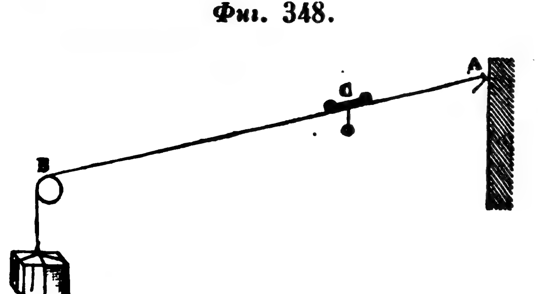
Фиг. 347.



Законы же, по которымъ производится это скатываніе, будутъ очевидно одни и тѣже, какъ и при свободномъ паденіи, потому что скатывающая сила дѣйствуетъ на тѣло, какъ мы уже показали, равномѣрно и непрерывно во все продолженіе движенія его, и представляетъ собою ни что иное, какъ дѣйствіе тяжести въ уменьшенномъ видѣ.

Основываясь на этомъ свойствѣ, представляемомъ наклонною плоскостію, Галилей натянулъ крѣпко веревку между двумя неизмѣнными точками *A* и *B* (фиг. 348), изъ которыхъ одна была расположена ниже другой. На этой веревкѣ онъ помѣстилъ два соединенные между собою небольшіе блока *M* и *N*, которые могли скатываться на веревкѣ безъ чувствительнаго тренія. Небольшая гиря *P*, привязанная къ части прибора, соединяющаго блоки, препятствовала имъ при скатываніи падать въ сторону отъ отвѣснаго направленія, проходящаго чрезъ веревку. Весь приборъ, имѣвшій видъ тележки, располагался въ верхней части веревки и потомъ въ извѣстный моментъ предоставляется самому себѣ. Замѣтивъ при скатываніи, до какой точки веревки достигнетъ блокъ *M* по окончаніи первой секунды, мы получимъ разстояніе, пройденное тележ-

Фиг. 348.



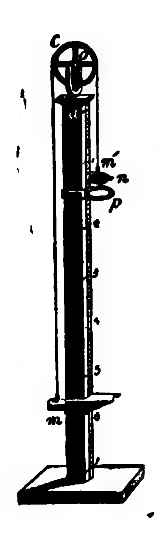
кой во время первой секунды ея паденія. Точно также опредѣляютъ пространство, пройденное во время первыхъ двухъ, трехъ и болѣе секундъ. Наблюдая такимъ образомъ за паденіемъ тележки нашли, что пространство пройденное въ извѣстное время равно пройденному въ первую секунду пространству, помноженному на квадратъ времени движенія.

Законъ скоростей не можетъ быть повѣренъ непосредственно на наклонной плоскости, потому что нельзя прекратить въ извѣстное время дѣйствіе силы скатывающей тѣло. Впрочемъ повѣрка этого закона не представляетъ большой важности, потому что на него мы можемъ смотрѣть какъ на математическое слѣдствіе закона пространствъ.

Но и законъ скоростей можетъ быть повѣренъ на опытѣ съ помощію *машины Атвуда*, названной по имени своего изобрѣтателя, который въ концѣ прошлаго вѣка былъ профессоромъ химіи въ Кембриджѣ. При устройствѣ своей машины Атвудъ имѣлъ цѣлію: вопервыхъ, употребить для движенія такую силу, которая производила бы подобно тяжести равноускоренное движеніе, но дѣйствовала бы съ меньшимъ напряженіемъ противу тяжести; такимъ образомъ, чтобы движеніе тѣла совершалось по однимъ и тѣмъ же законамъ, но только съ такою скоростію, которая позволяла бы удобно наблюдать результаты движенія даже въ продолженіи нѣсколькихъ секундъ. Вторая цѣль при устройствѣ его машины заключалась въ томъ, чтобы въ произвольный моментъ можно было прекратить дѣйствіе силы на двигающееся тѣло и чрезъ то доставить ему возможность двигаться по инерціи съ тою скоростію, которая была пріобрѣтена имъ въ моментъ прекращенія силы. Понятно, что въ такомъ случаѣ пространство, пройденное по инерціи, выразитъ намъ конечную скорость, пріобрѣтенную имъ по прошествіи извѣстнаго времени.

Для удовлетворенія этимъ условіямъ Атвудъ устроилъ легко подвижное на оси колесо *c* (фиг. 349), на окружности котораго сдѣланъ жолобъ для помѣщенія тонкой шелковой нити. Если къ концамъ этой нити привѣсить двѣ совершенно равныя гири *m* и *m'*, то очевидно, что на нихъ мы можемъ смотрѣть какъ на двѣ равныя и параллельныя силы, приложенныя къ оконечностямъ горизонтальнаго діаметра колеса. Какъ вѣсъ нити сравнительно съ вѣсомъ гирь, можетъ быть оставленъ нами безъ вниманія, то ясно, что обѣ гири будутъ находиться въ равновѣсіи, не взирая на различіе разстоянія ихъ отъ точекъ приложенія. Но очевидно, что это равновѣсіе будетъ нарушено, если на одну изъ этихъ гирь, наприм. *m'*, положить небольшой прибавочный грузъ *n*. Послѣдній грузъ, вслѣдствіе дѣйствія на него тяжести, будетъ производить движеніе книзу и увлечетъ за собою обѣ соединенныя съ нимъ гири *m* и *m'*, изъ которыхъ первая будетъ опускаться, а вторая подни-

Фиг. 349.



маться. Если бы прибавочный грузъ n падалъ одинъ, то сила тяжести дѣйствовала бы на его массу по тѣмъ же самымъ законамъ, какъ она дѣйствуетъ на всякое свободно падающее тѣло. Но какъ тяжесть на самомъ дѣлѣ приводитъ въ движеніе не только одну массу прибавочнаго груза n, но также и массы гирь m' и m, то очевидно, что, распространяя свое дѣйствіе на большее число частицъ, тяжесть не въ состояніи уже будетъ сообщить имъ той скорости, которую она могла бы передать одному прибавочному грузу n. Слѣдовательно движеніе цѣлой системы будетъ замедленно. Изъ законовъ же движенія тѣлъ мы знаемъ, что если одна и таже сила приводитъ въ движеніе различныя тѣла, то скорости, сообщенныя имъ, будутъ *обратно* пропорціональны массамъ двигающихся тѣлъ. Поэтому, если масса прибавочнаго груза n равна наприм. 1 грамму, а масса обѣихъ гирь m и m' равна 9 граммамъ, то общая масса, подверженная дѣйствію тяжести, будетъ въ 10 разъ болѣе прибавочнаго груза n, а слѣдовательно и скорость общей массы $n+m'+m$ будетъ въ 10 разъ менѣе противу того, когда бы тяжесть дѣйствовала на одинъ только грузъ n. Точно также оставивъ неизмѣнною массу груза n и увеличивъ общую массу гирь m' и m до 19 граммовъ, мы найдемъ, что скорость движенія общей системы будетъ въ 20 разъ менѣе. Поэтому мы можемъ постепенно уменьшать скорость паденія, давая гирямъ m' и m большія массы сравнительно съ массою груза n. Не должно при этомъ упускать изъ виду, что массы m' и m не измѣняютъ законовъ паденія, потому что онѣ замедляютъ скорость одинаковымъ образомъ въ продолженіи каждой единицы времени, такъ что существуютъ тѣже самыя отношенія между скоростями замедленными и тѣми скоростями, которыя бы пріобрѣлъ грузъ n при свободномъ своемъ паденіи.

Къ вертикальному столбу, поддерживающему блокъ и имѣющему обыкновенно около 7-ми футовъ высоты, придѣланы двѣ выдающіяся металлическія пластинки, которыя могутъ быть по произволу передвигаемы по длинѣ столба. Верхняя пластинка, имѣющая видъ кольца, можетъ свободно пропускать гирю m' и задерживаетъ только прибавочный грузъ n, длина котораго обыкновенно дѣлается болѣе діаметра кольца; нижняя же пластинка назначается собственно для пріостанавливанія движенія гири m'. Сторона столба, обращенная къ выдающимся частямъ пластинки, раздѣлена на равныя части, для оцѣнки пространствъ, проходимыхъ падающею гирею.

Чтобы повѣрить на машинѣ отношеніе, существующее между пройденными пространствами и временами, употребленными на прохожденіе ихъ, снимаютъ пластинку имѣющую видъ кольца и подводятъ гирю m' съ положеннымъ на нее грузомъ n къ самой вершинѣ столба до тѣхъ поръ, пока нижній край ея не будетъ находиться противу самаго нуля или начала дѣленій, проведенныхъ на брусѣ. Потомъ въ тотъ моментъ, когда бой часовъ означитъ начало секунды, предоставляютъ гирю вмѣстѣ съ грузомъ дѣйствію тяжести и замѣчаютъ ту точку дѣленія бруса, противу которой будетъ нахо-

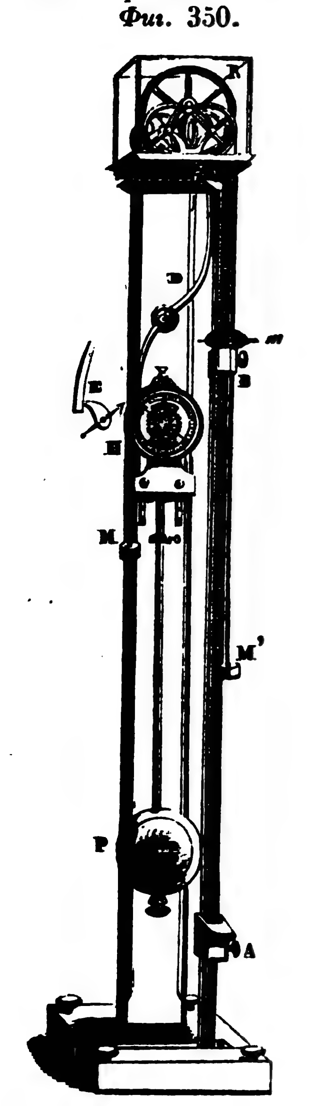
диться нижній край гири въ то время, когда новый бой часовъ дастъ знать объ окончаніи секунды. Такимъ образомъ по дѣленіямъ бруса мы можемъ опредѣлить пространство, пройденное гирей m и грузомъ n въ первую секунду паденія. Чтобы избѣгнуть ошибки, могущей встрѣтиться при оцѣнкѣ этого разстоянія, утверждаютъ пластинку, назначенную для удержанія гири m', въ той точкѣ, которая была замѣчена наблюдателемъ по окончаніи первой секунды, послѣ того повторяютъ снова опытъ. Если ударъ, произведенный тѣломъ, совпадаетъ съ боемъ часовъ, показывающимъ окончаніе первой секунды, то можно быть увѣреннымъ, что тѣло въ продолженіе секунды прошло въ точности то число дѣленій, которое находится между нулемъ и пластинкою. Если же ударъ не совпадаетъ съ боемъ, какъ это обыкновенно случается при опытахъ, то опускаютъ или поднимаютъ пластинку до возстановленія этого совпаденія. — Найдя такимъ образомъ пространство, соотвѣтствующее одной секундѣ, опускаютъ пластинку по длинѣ столба до тѣхъ поръ, пока разстояніе ея отъ нуля не будетъ въ четыре раза болѣе этого пространства. Предоставивъ, какъ и въ предъидущемъ случаѣ, гирю и пластинку дѣйствію тяжести, мы найдемъ, что она достигнетъ до пластинки по окончаніи второй секунды. Взявши между началомъ дѣленій и пластинкой въ девять разъ большее пространство, мы услышимъ ударъ гири по окончаніи трехъ секундъ. Однимъ словомъ, пространство, пройденное послѣ извѣстнаго числа секундъ, выразится квадратомъ этого числа.

Для опредѣленія *законовъ скоростей*, заставляютъ двигаться гирю m' и грузъ n въ продолженіе секунды, подъ вліяніемъ дѣйствія тяжести и по прошествіи этого времени пріостанавливаютъ грузъ n съ помощію кольцеобразной пластинки, которая ставится противу дѣленія, соотвѣтствующаго пространству проходимому въ первую секунду. Гиря m', освобожденная отъ груза n и уравновѣшиваемая гирею m, очевидно перестанетъ покоряться дѣйствію тяжести, а будетъ продолжать свое движеніе по инерціи со скоростію, пріобрѣтенною ею по достиженіи кольца. Скорость эта выразится тѣмъ пространствомъ, которое пройдетъ гиря m' во вторую секунду безъ прибавочнаго груза n. Если возобновить опытъ, поставивъ кольцеобразную пластинку въ той точкѣ, до которой достигаютъ гиря m' и грузъ n по окончаніи двухъ первыхъ секундъ, и если измѣрить пространство, пройденное одною гирею m' въ слѣдующую за тѣмъ секунду, то мы получимъ скорость пріобрѣтенную по прошествіи двухъ первыхъ секундъ. Скорость эта будетъ въ два раза болѣе противу прежде полученной скорости и вообще мы найдемъ, что скорость, полученная послѣ извѣстнаго времени, равна скорости пріобрѣтенной послѣ первой единицы времени, помноженной на число единицъ времени цѣлаго движенія.

При этомъ увидимъ, что пространство, пройденное во вторую секунду по инерціи, будетъ въ два раза болѣе пространства, пройденнаго въ первую секунду, при содѣйствіи прибавочнаго груза.

Главнѣйшее затрудненіе при производствѣ описанныхъ нами опытовъ на Атвудовой машинѣ, въ точномъ совпаденіи боя часовъ съ началомъ движенія. Поэтому для точныхъ опытовъ, прибору этому даютъ такое устройство, чтобы совпаденіе опредѣлялось съ помощію особеннаго механизма. Примѣромъ такого устройства служитъ машина, представленная на фигурѣ 350-й. На колоннѣ утверждаютъ

Фиг. 350.



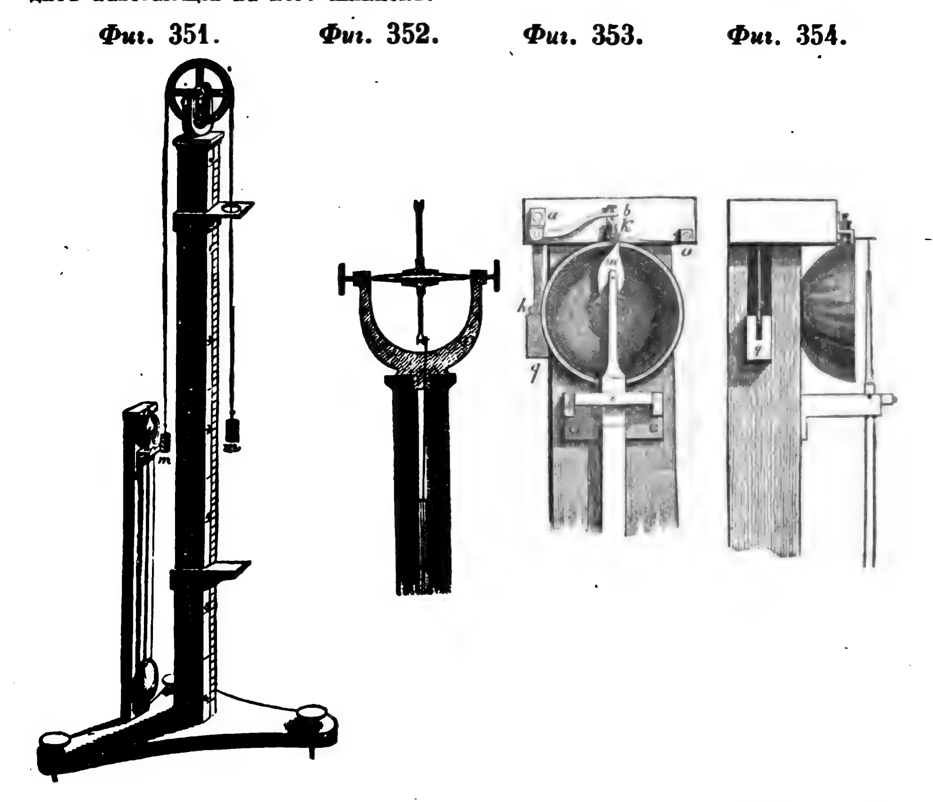
часы *H*, ходъ которыхъ уравнивается маятникомъ *P*, бьющимъ секунды. Это уравниваніе совершается при помощи двухъ крючьевъ, задѣвающихъ за зубцы колеса расположеннаго въ центрѣ часовъ. Крючья эти вмѣстѣ съ связывающей ихъ пластинкой соединены съ маятникомъ. При движеніи маятника вправо и влѣво, пластинка нагибается въ туже сторону и пропускаетъ при каждомъ качаніи маятника по зубцу средняго колеса. На оси этого колеса, выходящей къ наружной сторонѣ часовъ, утверждена стрѣлка показывающая секунды. На противоположной оконечности оси съ задней стороны часовъ находится небольшой эксцентрикъ *E*, представленный особо съ лѣвой стороны колонны. Эксцентрикъ этотъ, обращающійся въ одно время со стрѣлкою, опирается объ одну изъ оконечностей составнаго рычага *D*, другой конецъ котораго поддерживаетъ пластинку *j*, на которую опирается гиря *m* во время нахожденія своего противу нуля дѣленій боковой линейки.

Опираясь на прилежащую къ нему оконечность рычага, эксцентрикъ сообщаетъ движеніе рычагу, верхній конецъ котораго опускаетъ пластинку *j*, чрезъ что находящаяся на ней гиря можетъ свободно опускаться книзу. Самое же опусканіе пластинки производятъ слѣдующимъ образомъ: придерживаютъ маятникъ такимъ образомъ, чтобы стрѣлка остановилась на какомъ нибудь дѣленіи внѣ нуля, потомъ помѣщаютъ гири вмѣстѣ съ пластинкой передъ самымъ началомъ дѣленій линейки на пластинкѣ *j* и сообщаютъ движеніе маятнику. Когда стрѣлка достигнетъ до нуля, эксцентрикъ начинаетъ двигаться, толкаетъ рычагъ, который въ свою очередь тотчасъ же опускаетъ пластинку *j*, чрезъ что гиря опускается одновременно съ прохожденіемъ стрѣлкою нулеваго дѣленія.

Того же самаго результата достигаютъ посредствомъ другихъ устройствъ, изъ которыхъ мы опишемъ здѣсь одно, весьма часто встрѣчаемое въ физическихъ кабинетахъ. Оно приспособляется къ прибору, представленному на фигурѣ 351-й.

Близь самой нижней наружной окружности блока, представленнаго на фигурѣ 352-й въ разрѣзѣ, находится небольшой отвѣсный шпинекъ, параллельный къ оси блока. Внутри столба поддерживающаго блокъ сдѣлана пустота, заключающая по протяженію своей длины деревянную полосу, которая можетъ быть легко поднимаема и опускаема. Къ верхней части этой полосы прикрѣпленъ стальной прутикъ, проходящій насквозь дуги, поддерживающей ось блока. Верхняя часть этого прутика задѣваетъ за отвѣсный шпинекъ и тѣмъ самымъ, при положеніи означенномъ на разсматриваемой нами фигурѣ, препятствуетъ вращенію блока на одну сторону. Понятно, что движеніе блока можетъ происходить только тогда, когда прутикъ опустится книзу и освободитъ налегающій на него шпинекъ.

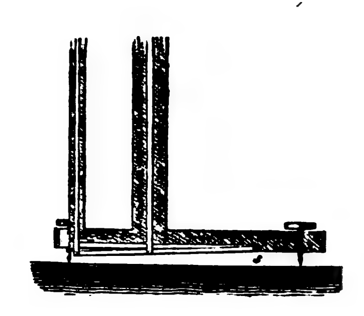
Фиг. 351. *Фиг.* 352. *Фиг.* 353. *Фиг.* 354.



Устройство это соединяется съ маятникомъ слѣдующимъ образомъ. Непосредственно позади верхняго конца маятника находится колоколъ (фиг. 353 и 354), о который при каждомъ опусканіи маятника ударяетъ молоточекъ *k*, чрезъ что движенія маятника могутъ быть легко замѣчаемы. Для этого съ молоточкомъ соединенъ горизонтальный шпинекъ, о который ударяетъ при каждомъ опусканіи маятника металлическая пластинка *m*, прикрѣпленная къ верхней оконечности его. Вслѣдствіе того молоточекъ поднимается и подходитъ къ оконечности укрѣпленной къ точкѣ *o* пружины, которая тотчасъ же нажимаетъ его книзу.

Для того же, чтобы первый ударъ молоточка происходилъ одновременно съ прохожденіемъ падающаго тѣла чрезъ нулевую точку скалы, употребляютъ слѣдующій механизмъ. На подставкѣ, поддерживающей весь приборъ, находится горизонтальная полоса, вращающаяся въ отвѣсной плоскости около неподвижной точки *s* (фиг. 355). Къ горизонтальной полосѣ прикрѣплены двѣ вертикальныя, изъ которыхъ одна проходитъ внутри главнаго столба и оканчивается на вершинѣ его металлическимъ шпинькомъ, препятствующимъ вращенію блока, а другая — внутри столба, поддерживающаго маятникъ. На верхнемъ концѣ послѣдней полосы находится поперечный мѣдный брусочекъ *q* (фиг. 353 и 354), выходящій наружу столба. Въ прорѣзѣ этого брусочка находится штифтикъ, посредствомъ котораго можно привѣшивать *q* на крючекъ *h*. Для этого должно приподнять нѣсколько брусочекъ *q*, вслѣдствіе чего полоса въ главномъ столбѣ поднимется и займетъ положеніе, препятствующее вращенію блока. Крючекъ *h* и рычагъ *ab* прикрѣплены на одной и той же горизонтальной оси и составляютъ вмѣстѣ колѣнчатый рычагъ, одно плечо котораго влечетъ за собою влеченіе другаго. Если вывести маятникъ изъ состоянія равновѣсія и предоставить его самому себѣ, то при первомъ поднятіи молоточка, конецъ *b* одного плеча рычага будетъ поднятъ кверху и вслѣдствіе того крючекъ *h* освободитъ висящій на немъ поперечный брусокъ *q*. Тогда полосы обоихъ столбовъ падаютъ одновременно вслѣдствіе собственнаго своего вѣса и движеніе массъ *m* и *m′* (фиг. 351) начинается въ тотъ моментъ, когда молоточекъ ударяетъ первый разъ по колоколу.

Фиг. 355.

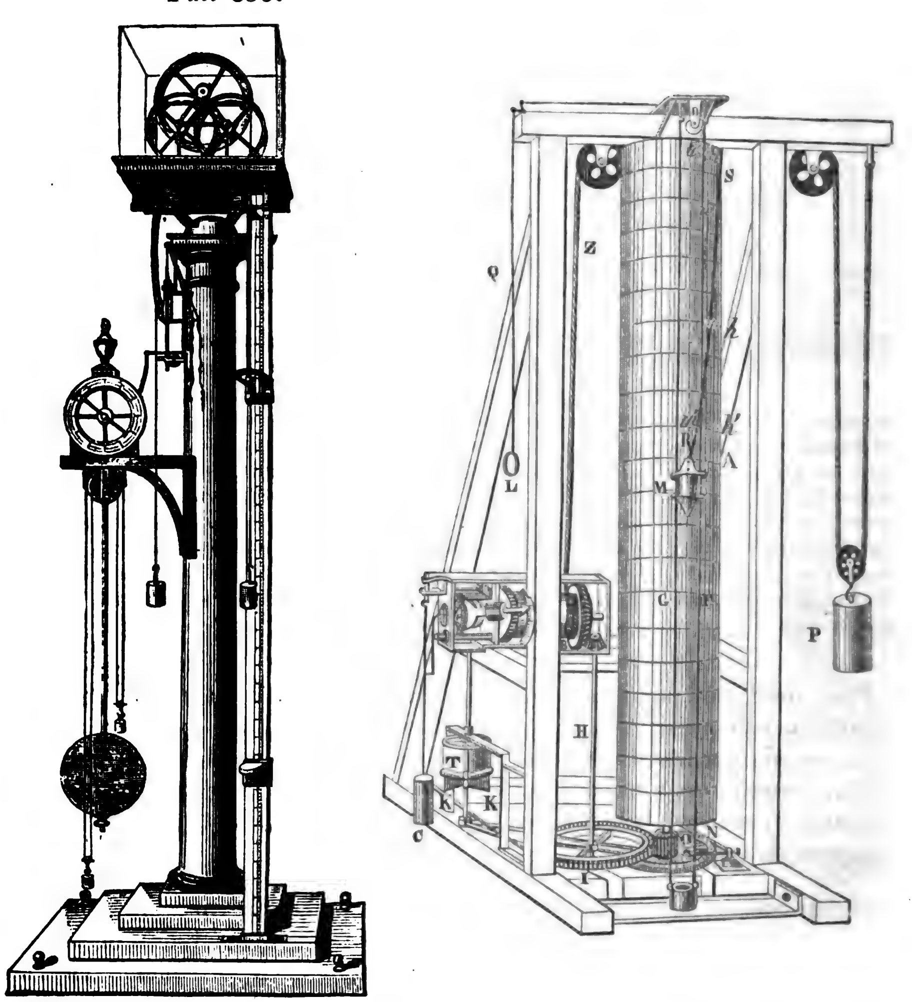


При повѣркѣ законовъ паденія на Атвудовой машинѣ должно обращать вниманіе также на сопротивленіе воздуха, которое впрочемъ по причинѣ медленности движеній бываетъ менѣе ощутительно здѣсь, нежели при свободномъ паденіи, потому что сопротивленіе срединъ, какъ мы уже знаемъ, уменьшается согласно уменьшенію квадрата скоростей.

Точно также не должно упускать изъ виду сопротивленія, представляемаго треніемъ колеса объ его ось. Въ существованіи этого тренія можно убѣдиться, положивши самый незначительный грузъ на одну изъ гирь: мы увидимъ, что обѣ гири останутся въ покоѣ, хотя по законамъ тяжести онѣ бы должны производить движеніе; слѣдовательно, если при болѣе значительномъ перевѣсѣ происходитъ движеніе гирь, то значитъ, что часть силы тяжести употребляется на преодолѣніе тренія. Обстоятельство это устраняютъ различнымъ образомъ: или прибавляютъ къ перевѣсу такую часть груза, которая сама по себѣ не въ состояніи произвести движенія и которая собственно уравновѣшиваетъ треніе, или кладутъ ось колеса на систему вращающихся блоковъ, которые при обращеніи колеса вращаются сами, а мы уже знаемъ изъ законовъ тренія, что оно уменьшается при этомъ движеніи. Такой способъ расположенія колеса

представленъ на фигурѣ 356-й, представляющей Атвудову машину въ болѣе совершенномъ видѣ.

Фиг. 356. Фиг. 357.



Моренъ, директоръ Консерваторіи Искусствъ и Ремеслъ въ Парижѣ, устроилъ недавно для доказательства законовъ паденія тѣлъ особенный приборъ съ вращающимся цилиндромъ, первая мысль о которомъ принадлежитъ Понселе.

Въ этомъ приборѣ равномѣрное движеніе бумажнаго цилиндра соединено съ движеніемъ падающаго тѣла, посредствомъ смоченной тушью кисти. Кисть эта, прикрѣпленная къ падающему тѣлу во время движенія его, описываетъ на прикасающейся къ ней бумагѣ цилиндра кривую линію, выражающую законы движенія.

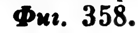
Главнѣйшую часть этого прибора (фиг. 357) составляетъ покрытый бумагою цилиндръ *A*, свободно вращающійся на своей оси. Въ приборѣ, хранящемся въ Парижской Консерваторіи Искусствъ и Ремеслъ, приборъ этотъ имѣетъ около 40 сантиметровъ въ діаметрѣ и 2м,90 высоты. Цилиндръ приводится въ движеніе гирею *P*, сообщающею посредствомъ веревки движеніе вороту *B*, который въ свою очередь передаетъ его при помощи двухъ угловыхъ колесъ отвѣсному стержню *H* и двумъ горизонтальнымъ колесамъ *I* и *O*, вращающимъ самый цилиндръ.

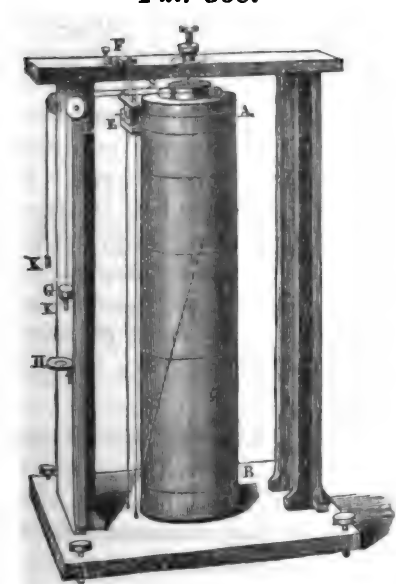
Какъ при паденіи гири *P* движеніе ея постепенно ускоряется, то механикъ Вагнеръ, устроившій этотъ приборъ, придѣлалъ къ нему особый регуляторъ, имѣющій цѣлію доставить равномѣрное движеніе вороту *B*. Основанія, на которыхъ устроенъ регуляторъ, извѣстны въ механикѣ подъ именемъ *дифференціальнаго* движенія. Система эта зависитъ одновременно отъ маятника *C* и отъ вѣтренницы съ крыльями *K*, имѣющей быстрое вращательное движеніе. Эта вѣтренница покрывается барабаномъ *T*, который, смотря по скорости вращенія прибора, то поднимается, то опускается. Когда движеніе ускоряется и маятникъ качается очень скоро, то барабанъ поднимается и крылья вѣтренницы бываютъ подвержены тогда дѣйствію воздуха, который, представляя большее сопротивленіе, замедляетъ движеніе ихъ. Напротивъ того, если скорость движенія уменьшается, то барабанъ опускается на вѣтреницу, отъ чего крылья ея встрѣчаютъ уже меньшее сопротивленіе и движеніе ихъ ускоряется. Вслѣдствіе такого уравниванія, по прошествіи извѣстнаго времени, движеніе ворота получаетъ достаточную равномѣрность, которая обыкновенно происходитъ въ томъ случаѣ, когда гиря *P* опускается на 50 сантиметровъ.

Что касается до колеса *N*, укрѣпленнаго на оси цилиндра, то оно назначено для дѣланія замѣтокъ на длинной деревянной линейкѣ, приставляемой къ цилиндру. Посредствомъ этой линейки проводятъ на поверхности цилиндра двѣ системы равно отстоящихъ между собою линій: однихъ въ направленіи параллельномъ, а другихъ — въ направленіи отвѣсномъ къ оси цилиндра.

Чугунная гиря *M* движется между двумя отвѣсными крѣпко натянутыми желѣзными проволоками *F* и *G*. Гиря эта при вершинѣ цилиндра поддерживается щипцами *D*, раскрывающимися по произволу, посредствомъ опусканія желѣзной проволоки *L*. Къ гирѣ прикрѣплена у *R* кисть, описывающая во время опусканія своего книзу на поверхности вращающагося цилиндра кривую линію *SR*, изъ вида которой и выводятъ законы движенія.

Въ самомъ дѣлѣ пространство, пройденное кистью по прошествіи извѣстнаго времени, въ какой нибудь точкѣ кривой *m*, равно части *am* вертикальной линіи, проведенной на поверхности цилиндра. Но какъ движеніе цилиндра равномѣрно, то мы можемъ выразить время паденія тѣла, по достиженіи имъ точки *m*, дугою *hm*, считая ее отъ точки *h*, находящейся на вертикальной линіи и служащей началомъ движенія кисти. Точно также при другомъ положеніи *m'*, пройденное пространство выразится чрезъ *a'm'*, а время чрезъ *h'm'*. Сравнивая между собою длины *a'm'* и *am* съ длинами дугъ *h'm'* и *hm* найдемъ, что первыя относятся между собою какъ квадраты этихъ дугъ, а это значитъ, что пройденныя пространства относятся между собою, какъ квадраты временъ.

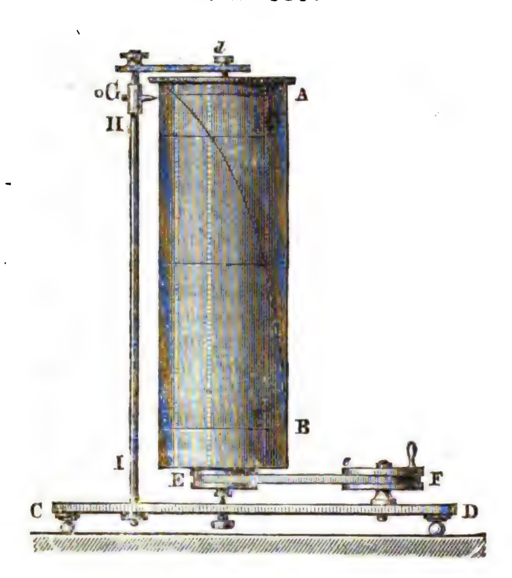

Фиг. 358.



Дороговизна этого прибора заставила извѣстнаго парижскаго оптика Секретана, устроить для физическихъ кабинетовъ менѣе сложный приборъ, вполнѣ удовлетворяющій своему назначенію. Онъ состоитъ изъ вращающагося на отвѣсной оси бумажнаго цилиндра *AB* (фиг. 358). Верхняя часть этого цилиндра снабжена желобомъ, который обхватывается нитію. Нить эта проходитъ чрезъ два блока, изъ которыхъ одинъ *L* находится на передней, а другой на задней сторонѣ лѣваго отвѣснаго бруса. Къ концамъ нитей прикрѣплены двѣ равныя гири, изъ которыхъ одна означена на фигурѣ буквою *K*. Понятно, что обѣ гири будутъ поддерживать другъ друга въ равновѣсіи, но если мы на одну изъ

нихъ *K* положимъ прибавочный грузъ *G*, то гиря вмѣстѣ съ грузомъ будетъ производить равноускоренное движеніе, сообщая въ тоже время вращеніе цилиндру, которое не будетъ равномѣрно до тѣхъ поръ, пока прибавочный грузъ *G* не задержится кольцеобразною пластинкою *H* и пока гири не начнутъ двигаться равномѣрно по одной инерціи. Когда наблюдатель услышитъ ударъ прибавочнаго груза *G* объ кольцо, онъ опускаетъ тотчасъ гирю *E*, которая снабжена, какъ и въ машинѣ Морена, кистью смоченною тушью. Понятно, что кисть эта при паденіи своемъ опишетъ на вращающемся равномѣрно цилиндрѣ кривую линію, которая будетъ имѣть одинаковыя свойства съ разсмотрѣнною нами кривою линіею въ приборѣ Морена.

Фиг. 359.



Секретанъ устроилъ подобный приборъ нѣсколько иначе. Онъ располагаетъ цилиндръ (фиг. 359) на центробѣжной машинѣ и послѣ извѣстнаго числа оборотовъ предоставляетъ цилиндръ самому себѣ. Послѣдній, вслѣдствіе инерціи, начинаетъ производить равномѣрное движеніе; тогда опускаютъ гирю съ кисточкою, которая чертитъ на цилиндрѣ параболу точно также, какъ и въ предшествующихъ случаяхъ.

Впослѣдствіи, въ статьѣ объ электричествѣ, мы будемъ имѣть случай говорить о приборахъ, которые могутъ быть также приспособлены къ опредѣленію паденія тѣлъ.

Посредствомъ разсмотрѣнныхъ нами способовъ, мы можемъ подтвердить на опытѣ, что законы выведенные умозрительно для равноускореннаго движенія, могутъ быть отнесены также и къ паденію тѣлъ, производимому тяжестію. И въ самомъ дѣлѣ, если скорости, пріобрѣтаемыя тѣлами, относятся между собою какъ времена паденія, то очевидно, что сила, производящая паденіе, должна сообщать тѣламъ въ равныя времена одинаковыя приращенія скоростей. Но мы должны здѣсь замѣтить, что во всѣхъ предъидущихъ опытахъ пространства, проходимыя падающими тѣлами, должны быть весьма малы. Для болѣе значительныхъ пространствъ, законы эти не могутъ оставаться неизмѣнными, потому что тяжесть, направленіе которой измѣняется согласно квадрату разстоянія, не можетъ въ этомъ случаѣ дѣйствовать съ одинаковою силою на тѣло во всѣхъ точкахъ его пути.

Законы эти примѣняются къ паденію *всѣхъ* тѣлъ въ пустотѣ, потому что тяжесть сообщаетъ всѣмъ имъ одинаковую скорость. Приблизительно можно примѣнить эти законы и къ паденію тѣлъ въ воздухѣ въ томъ случаѣ, когда падающія тѣла обладаютъ большимъ удѣльнымъ вѣсомъ, какъ напр. желѣзо, свинецъ.

Изъ законовъ паденія тѣлъ наибольшую важность представляетъ законъ, опредѣляющій зависимость *пройденныхъ пространствъ отъ квадратовъ временъ.*

На основаніи этого закона, если бы мы знали время, употребленное тѣломъ на паденіе съ извѣстной высоты, то легко могли бы опредѣлить и самую высоту. Для этого стоитъ только знать пространство пройденное тѣломъ въ единицу времени. Изъ опытовъ на Атвудовой машинѣ можно найти, что пространство, пройденное тѣломъ въ первую секунду паденія, почти равно 16,1 футовъ.

Положимъ теперь, что время паденія равно 6 секундамъ: если тѣло въ продолженіи одной секунды проходитъ около 16 футовъ, то на основаніи предъидущаго, пространство это будетъ относиться къ искомому пространству, которое мы назовемъ чрезъ x, какъ квадратъ времени, употребленнаго на прохожденіе 16 футовъ, къ квадрату времени, требуемаго на прохожденіе искомаго пространства, т. е. $16 : x = 1^2 : 6^2$, откуда $x = 576$ фут.

Точно также зная высоту, съ которой падаетъ тѣло вслѣдствіе тяжести, можно найти время паденія; такъ напр. положимъ, что пространство, пройденное тѣломъ равно 1024 фут., разсуждая какъ и въ предъидущемъ случаѣ, получимъ $16 : 1024 = 1^2 : x^2$, откуда $x^2 = 64$, а $x = 8$ секундамъ.

Подобныя задачи легко могутъ быть разрѣшены съ помощію формулъ, выведенныхъ нами въ механической статьѣ: $v = gt$, $s = \frac{1}{2} gt^2$ и $v = \sqrt{2gs}$, въ которыхъ v выражаетъ скорость по прошествіи t секундъ, g — скорость пріобрѣтенную въ первую секунду, а s — пространство, совершенное въ t секундъ. При разрѣшеніи задачъ, относящихся къ паденію тѣлъ, необходимо знать величину g. Если пространство, пройденное въ первую секунду паденія, равно 16 фут., то g или скорость пріобрѣтенная въ первую секунду, будетъ равна 32 фут., потому что на основаніи законовъ равноускореннаго движенія, пространство, пройденное тѣломъ при этомъ движеніи, равно половинѣ пространства, совершеннаго тѣломъ въ тоже самое время равномѣрнымъ движеніемъ, а пространство это и выражаетъ намъ конечную скорость g.

Дѣйствіе тяжести на тѣла, движущіяся по инерціи.

§ 127. Брошенныя тѣла приводятся въ движеніе какой нибудь силой, которая, вслѣдствіе закона инерціи, должна двигать ихъ равномѣрно по направленію прямой линіи, если бы дѣйствіе тяжести не измѣняло какъ скорости самаго движенія, такъ и направленія его, въ томъ случаѣ, когда оно не совпадаетъ съ направленіемъ дѣйствія тяжести. Сила, приводящая тѣло въ движеніе, называется *метательною.* Движеніе тѣлъ брошенныхъ.

Для легчайшаго вывода законовъ метательнаго движенія, мы должны допустить нѣкоторыя предположенія. Такимъ образомъ мы предполагаемъ: во 1-хъ, что брошенное тѣло двигается въ безводушномъ пространствѣ; во 2-хъ, мы оставляемъ безъ вниманія уменьшенія вѣса падающаго тѣла, по мѣрѣ удаленія его отъ средоточія земли, и въ 3-хъ, принимаемъ широту полета за самую незначительную сравнительно съ величиною земнаго радіуса: вслѣдствіе чего допускаемъ, что направленія тяжести для всѣхъ точекъ пути, описываемаго брошеннымъ тѣломъ, сходятся по направленію къ центру земли подъ весьма малыми углами, позволяющими принимать ихъ, безъ значительной погрѣшности, за параллельныя линіи. Оба послѣднія условія во многихъ случаяхъ такъ мало уклоняются отъ истины, что даже самыя точныя наблюденія не бываютъ въ состояніи открыть этой разницы.

Метательное движеніе можетъ происходить или въ одномъ направленіи съ дѣйствіемъ тяжести, или же составлять уголъ съ горизонтомъ.

Отвѣсно къ горизонту. 1-ое. Если тѣло съ извѣстною скоростію будетъ брошено по отвѣсному направленію кверху, то дѣйствіе тяжести уже не будетъ увеличивать ни скорости, ни высоты его паденія, а на оборотъ будетъ постепенно уменьшать послѣднія, сообразно съ изложенными нами законами свободнаго паденія тѣлъ.

Если бы тѣло было брошено кверху со скоростію 150 футовъ, то, не подвергаясь дѣйствію тяжести, оно должно подниматься равномѣрно, проходя въ секунду 160 футовъ. Но такъ какъ тяжесть сообщающая всякому падающему тѣлу въ 1, 2, 3, 4, 5 и т. д. секундъ конечныя скорости 32, 64, 96, 128, 160 и т. д. футовъ, дѣйствуетъ въ этомъ случаѣ противоположно направленію движенія, то очевидно, что скорость поднимающагося тѣла по окончаніи 1-й секунды будетъ 160—32 или 128 футовъ, 2-ой секунды—160—64 или 96 ф., 3-й сек. 160—96 или 64 фута., 4-ой сек. 160—128 или 32 фут. и, наконецъ, 5-ой сек. 160—160 или 0 фут.

Естественно, что по достиженіи этой скорости тѣло будетъ подлежать только одному дѣйствію тяжести, и не имѣя возможности продолжать далѣе своего полета, должно опускаться книзу. Описанное нами поднятіе тѣла, представляетъ примѣръ *равноукоснительнаго* движенія, потому что скорость его уменьшается въ каждую секунду ровно 32 фута.

Самая высота поднятія тѣла въ извѣстное время, опредѣляется слѣдующимъ образомъ. Если бы дѣйствіе тяжести въ приведенномъ выше примѣрѣ не дѣйствовало на тѣло, то оно по прошествіи 1, 2, 3 и т. д. секундъ достигло бы высоты 160, 160 + 160 или 320, 160+160+160 или 480 фут. и т. д. Но такъ какъ тяжесть уменьшаетъ скорость полета, то, вслѣдствіе выведеннаго нами, высота паденія тѣла должна уменьшиться въ 1-ю сек. на 16 ф., во 2-ю 4 раза 16 или 64 ф., въ 3-ю на 9 разъ 16 или 144 фут. и т. д. Поэтому высота, достигаемая тѣломъ по прошествіи 1-й секунды, бу-

детъ 160—16 или 144, 2-ой сек. 320—64 или 256 ф. 3-й секунды 480—144 или 336 ф. и т. д. По прошествіи 5 секундъ тѣло достигло бы до высоты 800, но такъ какъ дѣйствіе тяжести уменьшаетъ высоту полета на 16×25, то оно поднимется только на 800—400 или на 400 ф. Достигнувъ этой высоты тѣло, какъ мы уже сказали, будетъ опускаться книзу по тѣмъ же самымъ законамъ и употребитъ на паденіе свое столько же времени, сколько и на поднятіе.

Такъ какъ при возвращеніи къ землѣ падающее тѣло ускоряетъ свое движеніе, подъ тѣмъ же самымъ напряженіемъ тяжести, которое прежде уменьшало его скорость, то очевидно, что при паденіи своемъ на землю оно достигнетъ той самой скорости, съ которою было брошено кверху. Слѣдовательно, что бы бросить тѣло отвѣсно до высоты 170 фут. надлежитъ сообщить ему при началѣ ту самую скорость, которой оно должно достигнуть при паденіи своемъ съ высоты 170 ф. Не должно впрочемъ упускать изъ виду, что при повтореніи этого на опытѣ всегда надлежитъ принимать во вниманіе и самое сопротивленіе воздуха.

Если же тѣло будетъ брошено отвѣсно книзу, то оно опустится не только отъ дѣйствія тяжести, какъ тѣло предоставленное самому себѣ, но также и отъ силы, сообщенной ему при началѣ полета.

2-е. Всякое тѣло, брошенное или *подъ угломъ къ горизонту* или *параллельно къ послѣднему*, опишетъ во время своего полета кривую линію, отъ совокупнаго вліянія тяжести и метательной силы (фиг. 360). Начертаніе этой линіи въ первомъ случаѣ легко можетъ быть выведено нами изъ законовъ свободнаго паденія тѣлъ. Такъ напр. если бы бомба была брошена изъ мортиры по направленію линіи *af*, со скоростію 2000 ф. въ секунду, то безъ вліянія тяжести она бы двигалась постоянно по сообщенному ей направленію съ равномѣрною скоростію, проходя въ каждую секунду равныя разстоянія *ac*, *cd*, *de*, *ef* и т. д., изъ которыхъ каждое равно 2000 ф. Но такъ какъ при движеніи бомбы къ точкѣ *c*, сила тяжести заставляетъ ее опускаться на 16 ф. книзу, то она не достигнетъ уже точки *c*, а будетъ находиться ниже ея на 16 фут. въ точкѣ *g*. Во вторую секунду тяжесть заставитъ ее понизиться въ точку *h* на 4 . 16 или на 64 ф. ниже точки *d*. Въ третью секунду она будетъ находиться въ точкѣ *i*, отстоящей отъ *d* на 9.16 ф. и т. д. Соединивъ между собою точки *a*, *g*, *h*, *i* и *k*, мы получимъ кривую линію, означающую путь бомбы и называемую *параболою*. Самая высшая точка этой линіи должна находиться по-

Наклонно къ горизонту.

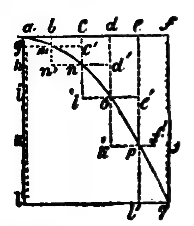
Фиг. 360.

Фиг. 361.

срединѣ ея. Очевидно, что точка эта бываетъ тѣмъ выше отъ горизонта, чѣмъ уголъ возвышенія *fak* ближе подходитъ къ прямому и на оборотъ. Ширина же полета, обозначаемая горизонтальной линіей *ak*, бываетъ самая большая при углѣ возвышенія въ 45°. На фигурѣ 361-й представленъ примѣръ подобнаго движенія.

Если же изъ какой нибудь возвышенной точки *a* (фиг. 362) было бы брошено тѣло по направленію параллельному къ горизонту, то оно опишетъ только одну половину параболы, называемую *вѣтвію* ея.

Фиг. 362.



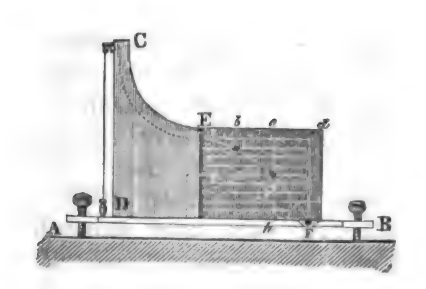
Фиг. 363.



Начертаніе этой вѣтви можетъ быть по предъидущему легко объяснено 362-ю фигурою. И въ самомъ дѣлѣ точки *m*, *n*, *o*, *p* и *q*, означающія полетъ тѣла, опредѣляются діагоналями параллелограммовъ, построенныхъ на линіяхъ *ab*, *mc'*, *nd'*, *oe'*, *pf'*, показывающихъ направленіе метательной силы и на линіяхъ *ag*, *mn'*, *ni'*, *ok'*, *pl'*, представляющихъ направленіе тяжести въ каждую послѣдующую секунду полета. На фиг. 363-й представленъ примѣръ подобнаго движенія.

Для повѣрки на опытѣ законовъ брошенныхъ тѣлъ, употребляютъ приборъ представленный на фигурѣ 364-й. Чрезъ точки *a*, *i*, *g* и *F* проведена кривая линія, означающая по вычисленію путь, который на основаніи вычисленія долженъ принять опущенный изъ *C* шаръ, по достиженіи точки *a*, вслѣдствіе инерціи и силы тяжести. И въ самомъ дѣлѣ, пріидя въ точку *a*, шаръ будетъ побуждаемъ по инерціи двигаться по направленію линіи *Ed* со скоростію пріобрѣтенною имъ въ точкѣ *a*. Онъ двигался бы дѣйствительно по направленію этой линіи, если бы по прохожденіи имъ точки *a*, не былъ тотчасъ же подверженъ дѣйствію тяжести, которая, уклоняя шаръ послѣдовательно все болѣе и болѣе отъ направленія *Ed*, заставитъ его направиться по параболѣ *aF*. Чтобы убѣдиться въ томъ, что путь его на самомъ дѣлѣ совершается по этой линіи, придѣлываютъ въ точкахъ *i* и *g* кольца, могущія свободно пропускать шаръ: мы увидимъ, что послѣдній при движеніи своемъ пройдетъ чрезъ эти кольца.

Фиг. 364.



Примѣненія законовъ брошенныхъ тѣлъ.

§ 128. Выведенные нами законы имѣютъ весьма важное примѣненіе при стрѣльбѣ. Съ этою цѣлію, какъ извѣстно, употребляютъ различныя орудія, изъ которыхъ мы упомянемъ здѣсь объ ружьяхъ и артиллерійскихъ орудіяхъ. Первыми пользуются, какъ извѣстно, для попаданія въ предметы близкіе, между тѣмъ какъ послѣднія служатъ для предметовъ отдаленныхъ. Въ обоихъ случаяхъ тѣла, совершающія полетъ, какъ напр: пули, ядра и др. при-

водятся въ движеніе упругостію газовъ, происходящихъ вслѣдствіе сожженія пороха, который помѣщается внутри ружья или орудія, непосредственно возлѣ пули или ядра. Вслѣдствіе упругости газовъ, послѣднія тѣла движутся по внутренней пустотѣ ружей или орудій съ постепенно возрастающею скоростію на всемъ продолженіи этой пустоты, называемой каналомъ. Освобождаясь отъ ускоряющаго дѣйствія газовъ, какъ пули, такъ и ядра должны бы двигаться на основаніи инерціи съ тою скоростію, которая была имъ сообщена въ послѣдній моментъ дѣйствія силы и по тому направленію, по которому совершалось движеніе ихъ въ каналахъ. Но какъ скорость, такъ и направленіе летящихъ тѣлъ, измѣняются на самомъ дѣлѣ отъ сопротивленія воздуха и отъ притяженія оказываемаго землею.

На основаніи законовъ, выведенныхъ нами выше, дѣйствіе тяжести заставляетъ всякое летящее тѣло описывать параболическія линіи, фигуры которыхъ измѣняются болѣе или менѣе отъ сопротивленія воздуха.

Поэтому мы не попали бы никогда въ отдаленную точку въ томъ случаѣ, если бы направили каналъ ружья или орудія по прямой линіи, проходящей чрезъ эту точку. Обстоятельство это, извѣстное каждому стрѣлку, заставляетъ какъ ружьямъ, такъ и орудіямъ придавать особенныя устройства.

На фигурѣ 365-й *AB* представляетъ разрѣзъ ружья, на верхней части кото-

Фиг. 365.



раго находятся два возвышенія *C* и *D*. Положимъ, что полетъ пули совершается по направленію кривой линіи *BEGFH*, которая пересѣкаетъ въ точкахъ *E* и *F* прямую линію *CDEF*, направленную чрезъ верхнія точки возвышеній. Понятно, что если цѣль находится на прямой линіи между *D* и *E*, то должно направить дуло такъ, чтобы приподнялась линія выстрѣла, т. е. должно прицѣливаться нѣсколько выше точки, въ которую желаютъ попасть. Если точка эта находится въ *E* или въ *F*, то прицѣливаются прямо на нее; при нахожденіи точки между *E* и *F* прицѣливаются нѣсколько ниже и наконецъ прицѣливаются выше точки, если она находится по ту сторону *F*. Изъ всего этого слѣдуетъ, что для мѣткости выстрѣловъ, каждый стрѣлокъ долженъ знать хорошо точки пересѣченія полета пули, пущенной изъ его ружья, съ линіею, по которой происходитъ прицѣливаніе.

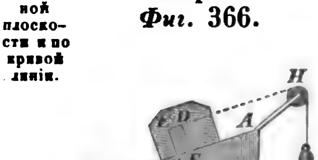
При выстрѣлахъ изъ артиллерійскихъ орудій, даютъ послѣднимъ извѣстное наклоненіе къ горизонту. Величина этого наклоненія зависитъ отъ отдаленія того мѣста, въ которое желаютъ попасть ядромъ или другимъ снарядомъ. Пущенный изъ орудія снарядъ летитъ всегда по дугѣ, направленіе которой бываетъ тѣмъ выше надъ горизонтомъ, чѣмъ значительнѣе уголъ наклоненія самаго орудія.

Дѣйствіе тяжести на тѣла, движущіяся по наклонной плоскости и по дугѣ круга.

Движеніе по наклонной плоскости и по кривой линіи.

§ 129. Всякое тѣло, находящееся на наклонной плоскости, бываетъ подвержено дѣйствію тяжести *DG* (фиг 366), которое въ настоящемъ случаѣ, какъ мы уже видѣли, можетъ быть разложено на двѣ составляющія: одну *DF* перпендикулярную къ плоскости и другую *DE* параллельную къ послѣдней. Первая изъ этихъ составляющихъ ограничивается давленіемъ на плоскость, между тѣмъ какъ вторая производитъ скатываніе тѣла. Какъ послѣдняя сила составляетъ только извѣстную часть отъ полнаго напряженія тяжести, то очевидно, что движеніе тѣла, хотя и будетъ совершаться по общимъ законамъ дѣйствія тяжести, т. е. равноускоренно; но движеніе это будетъ совершаться гораздо медленнѣе противу того, если бы на тѣло дѣйствовало полное напряженіе тяжести, т. е. когда бы тѣло падало свободно въ пространствѣ.

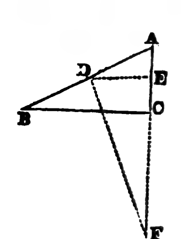
Фиг. 366.



Основываясь на этомъ, съ перваго взгляда кажется, что и самая скорость, пріобрѣтенная тѣломъ по достиженія низшей точки наклонной точки, должна быть менѣе той скорости, которую пріобрѣтаетъ тѣло падающее отвѣсно съ той же высоты по достиженіи основанія наклонной плоскости. Но на самомъ дѣлѣ выходитъ иначе, въ чемъ мы можемъ убѣдиться съ помощію слѣдующаго разсужденія.

Мы уже говорили, что сила, скатывающая тѣло по плоскости, востолько разъ менѣе цѣлаго напряженія тяжести, во сколько высота плоскости менѣе длины ея. Положимъ, что высота *AC* наклонной плоскости (фиг. 367), составляетъ одну треть ея длины *AB*. Ясно, что и сила, скатывающая тѣло, будетъ втрое менѣе цѣлаго напряженія тяжести, а слѣдовательно и скорость, которую пріобрѣтетъ тѣло въ концѣ одной секунды, должна быть втрое меньше той скорости, которую бы пріобрѣло тѣло при свободномъ паденіи по вертикальной линіи. Точно также и пространство, пройденное тѣломъ во время первой секунды своего движенія по плоскости, будетъ втрое меньше того пространства, которое бы оно прошло при вертикальномъ паденіи. Если принять *AD* равнымъ трети того пространства, которое проходитъ тѣло при свободномъ паденіи въ одну секунду, то проведя перпендикуляръ къ линіи *AB* до пересѣченія съ продолженною линіею *AC*, мы получимъ на основаніи равенства треугольниковъ *ABC* и *ADF*, что *AD* составляетъ треть отъ *AF*. Слѣдова-

Фиг. 367.

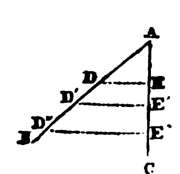


тельно *AF* будетъ выражать пространство, пройденное свободно надающимъ тѣломъ въ первую секунду его паденія. Значитъ тѣло, скатывающееся изъ точки *A*, придетъ по истеченіи одной секунды въ точку *D*, тогда какъ при вертикальномъ паденіи оно достигло бы въ тотъ же самый моментъ до точки *F*.

Проведя горизонтальную линію *DE*, мы найдемъ, что отношеніе между *AD* и *AE* будетъ тоже, что между *AC* и *AB*, т. е. *AE* будетъ составлять *треть* отъ *AD*. Но какъ *AD* составляетъ треть отъ *AF*, то *AE* будетъ равно *одной девятой AF*. Примѣняя къ настоящему случаю законъ пропорціональности пространствъ квадратамъ временъ, употребленнымъ на ихъ прохожденіе, найдемъ, что тѣло, падающее отвѣсно съ точки *A*, достигло бы точки *E* въ концѣ $^1/_3$ секунды, потому что по окончаніи секунды оно проходитъ пространство *AF*. Поэтому и скорость, которую пріобрѣтаетъ тѣло, достигнувъ до точки *E*, будетъ втрое менѣе той, которую оно пріобрѣтаетъ по достиженіи точки *F*. Но мы уже сказали, что при скатываніи по наклонной плоскости, скорость тѣла въ точкѣ *D*, по прошествіи одной секунды скатыванія, будетъ втрое менѣе той скорости, которую бы оно имѣло въ точкѣ *F* по прошествіи секунды при вертикальномъ своемъ паденіи. Слѣдовательно скорости тѣла въ точкахъ *D* и *E* должны быть совершенно одинаковы.

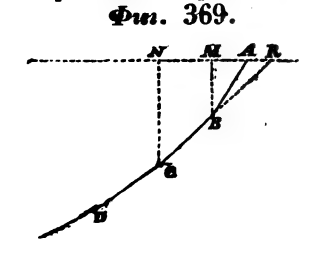
Что мы сказали о скорости, пріобрѣтенной тѣломъ по прошествіи первой секунды скатыванія по наклонной плоскости, то очевидно можно примѣнить и къ скорости, которую бы пріобрѣло тѣло во всякое другое время. Поэтому, если два тѣла падаютъ изъ одной точки *A* (фиг. 368), вслѣдствіе дѣйствія тяжести — одно по наклонной плоскости *AB*, а другое по направленію отвѣсной линіи *AC*, то скорости, пріобрѣтаемыя тѣломъ въ точкахъ *D*, *D'*, *D''*, будутъ взаимно равны скоростямъ втораго тѣла въ точкахъ *E*, *E'*, *E''*, расположенныхъ въ однѣхъ горизонтальныхъ плоскостяхъ съ первыми точками. На этомъ основаніи мы имѣемъ право заключить, что скорость, пріобрѣтаемая въ какой нибудь извѣстный моментъ времени тѣломъ, скатывающимся по наклонной плоскости отъ дѣйствія тяжести, есть ничто иное, какъ скорость, на которую опустилось бы тѣло, падая свободно по направленію отвѣсной линіи.

Фиг. 368.



Чтобы опредѣлить какимъ образомъ совершается паденіе тѣла по направленію кривой линіи, раздѣлимъ эту линію на части *AB*. *CD*... (фиг. 369), изъ которыхъ каждую можно принять за небольшую прямую линію Каждую изъ послѣднихъ мы можемъ принять за наклонную плоскость. Если тѣло начинаетъ двигаться отъ *A*, то по достиженіи точки *B* оно на основаніи предъидущаго, пріобрѣтетъ скорость, соотвѣтствующую высотѣ *BM*. Послѣ того оно приметъ направленіе *BC* и будетъ находиться при тѣхъ же условіяхъ,

Фиг. 369.



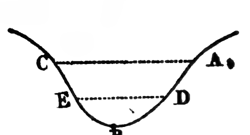
какъ и въ томъ случаѣ, если бы оно падало изъ точки B по наклонной плоскости BBC; поэтому по достиженіи точки C оно будетъ имѣть скорость, соотвѣтствующую высотѣ CN. Продолжая такимъ образомъ слѣдить за паденіемъ тѣла по различнымъ частямъ, на которыя мы раздѣлили кривую линію, найдемъ, что въ каждой точкѣ ея оно будетъ имѣть скорость, соотвѣтствующую отвѣсной высотѣ начальной точки A надъ данною точкою.

Если тѣло будетъ брошено кверху по направленію наклонной плоскости, то очевидно, что оно бы двигалось равномѣрно со скоростію, пріобрѣтенною въ послѣдній моментъ дѣйствія силы, если бы во время этого движенія не дѣйствовала на него сила тяжести. Послѣдняя сила, въ настоящемъ случаѣ, дѣйствуетъ *по тѣмъ же самымъ законамъ*, какъ и при скатываніи тѣла по наклонной плоскости, съ тою только разницею, что при поднятіи она *замедляетъ* движеніе тѣла. И въ самомъ дѣлѣ, та часть тяжести, которая при паденіи ускоряла скатываніе, будетъ одинаковымъ образомъ уменьшать скорость восхожденія, т. е. уменьшеніе испытываемое тѣломъ, поднимающимся отъ точки D къ D' (фиг. 370), будетъ совершенно равно увеличенію той скорости, которую бы оно пріобрѣтало при прохожденіи того же самаго пути $D'D$ по противоположному направленію. Слѣдовательно, если въ D тѣло имѣло скорость, соотвѣтствующую высотѣ CD, то въ D' оно будетъ имѣть скорость, соотвѣтствующую высотѣ $C'D'$; при этомъ очевидно мы предполагаемъ, что точки C' и C лежатъ на одной горизонтальной линіи.

Фиг. 370.

Зная, какимъ образомъ совершается опусканіе и поднятіе тѣла по наклонной плоскости, мы можемъ опредѣлить движеніе тѣла по кривымъ линіямъ различной формы. Если тѣло, падающее изъ точки A, движется по линіи ABC (фиг. 371), то скорость его будетъ постепенно ускоряться до тѣхъ поръ, пока оно не достигнетъ самой низшей точки B, въ которой оно будетъ имѣть скорость, соотвѣтствующую высотѣ горизонтальной линіи AC надъ точкою B. Вслѣдствіе пріобрѣтенной скорости тѣло начнетъ подниматься по направленію къ точкѣ C; но какъ тяжесть на этомъ пути будетъ постоянно заставлять тѣло опускаться книзу, то очевидно, что движеніе его будетъ замедляться. Поэтому скорость тѣла будетъ постепенно уменьшаться. Какъ это уменьшеніе совершается по тѣмъ же законамъ, по которымъ происходило прежде увеличеніе скорости, въ томъ случаѣ, когда кривая линія BC имѣетъ совершенно одинаковое расположеніе съ линіею BA, то очевидно, что по достиженіи точки D оно будетъ имѣть ту самую скорость, которою обладало во время прохожденія точки E, находящейся въ одной горизонтальной плоскости съ точкою E. Слѣдовательно по достиженіи точки C, лежащей въ одной горизонтальной плоскости съ точкою A, скорость его сдѣлается равною нулю. Тогда

Фиг. 371.

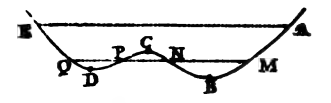


тѣло будетъ покоряться только одному дѣйствію тяжести, которая заставитъ его вновь опускаться къ точкѣ *B*. По достиженіи послѣдней точки тѣло, вслѣдствіе пріобрѣтенной скорости, поднимется къ *A*, потомъ снова опустится въ противоположную сторону и т. д., повторяя это движеніе взадъ и впередъ до тѣхъ поръ, пока сопротивленіе воздуха и треніе, замедляющія постепенно оба эти движенія, не прекратятъ ихъ наконецъ совершенно.

Изъ сдѣланнаго нами разсмотрѣнія слѣдуетъ, что скорость, полученная отъ дѣйствія тяжести, опускающимся тѣломъ, вполнѣ достаточна для того, чтобы привести тоже самое тѣло и въ тоже самое время на туже высоту.

Если бы тѣло двигалось по кривой *ABCDE* (фиг. 372), опускаясь изъ точки *A*, то оно опустилось бы до точки *B*, поднялось бы до *C*, прошло бы эту точку для того, чтобы снова опуститься до *D* и опять бы поднялось до точки *E*, лежащей въ одной горизонтальной линіи съ точкою *A*. Какъ скорость тѣла по достиженіи послѣдней точки сдѣлается равною нулю, то оно, вслѣдствіе дѣйствія тяжести, начнетъ опускаться и пройдетъ путь *EDCBA*, и т. д. При этомъ движеніи скорости тѣла въ точкахъ *M*, *N*, *P* и *Q*, лежащихъ на одной горизонтальной линіи, будутъ очевидно равны между собою.

Фиг. 372.



Опредѣленіе напряженія тяжести.

§ 130. Вслѣдствіе сказаннаго нами, мы можемъ смотрѣть на тяжесть на одномъ и томъ же мѣстѣ земли, для высотъ мало удаленныхъ отъ земной поверхности, какъ на силу равноускоряющую. Какъ всѣ тѣла падаютъ въ пустотѣ съ одинаковою скоростію, то очевидно, что мѣрою напряженія тяжести можетъ намъ служить скорость, сообщаемая ею въ одну секунду всякому тѣлу падающему въ пустотѣ. Напряженіе тяжести.

Скорость эта, обыкновенно означаемая буквою *g*, какъ показываютъ опыты, равна у насъ въ Петербургѣ 32,2 фут., что равно почти 4,9 метра.

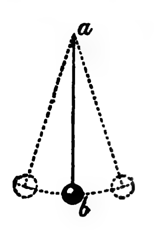
Но болѣе точное опредѣленіе скорости производится посредствомъ особеннаго прибора, называемаго *маятникомъ*.



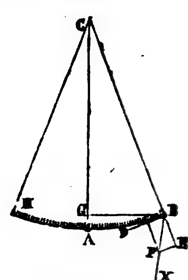
Маятникъ.

§ 131. Подъ маятникомъ разумѣютъ всякое тяжелое тѣло b (фиг. 373), соединенное посредствомъ нити или негибкаго прута съ неподвижною точкою a, которая позволяетъ ему двигаться на вѣсу свободно взадъ и впередъ. Тѣло, привѣшенное такимъ образомъ къ неподвижной оси, будетъ находиться въ равновѣсіи, когда точка привѣса, центръ тяжести тѣла и центръ земли будутъ находиться на одной прямой линіи, т. е. когда направленіе нити будетъ совпадать съ направленіемъ продолженнаго земнаго радіуса, потому что въ этомъ случаѣ нить, укрѣпленная въ томъ же самомъ направленіи, уничтожаетъ сцѣпленіемъ своихъ частицъ напряженіе тяжести, притягивающей тѣло къ центру земли. Если же вывести тѣло изъ этого положенія и привести его въ точку B (фиг. 374), уклонивъ чрезъ то маятникъ отъ отвѣса на уголъ o и потомъ предоставить его самому себѣ, то дѣйствіе тяжести не будетъ уже уничтожаться сопротивленіемъ оси. Тяжесть въ этомъ случаѣ будетъ дѣйствовать на тѣло по направленію отвѣсной линіи BX съ извѣстнымъ напряженіемъ BF. Если разложить это напряженіе тяжести на двѣ составляющія силы: BE, совпадающую съ направленіемъ нити BC, и BD, перпендикулярную къ послѣднему направленію, то легко видѣть, что первая составляющая будетъ уничтожаться сопротивленіемъ, представляемымъ сцѣпленіемъ частицъ нити, и что тѣло будетъ подвержено только одному дѣйствію составляющей BD, стремящейся приводить его къ отвѣсному положенію AC. Какъ разстояніе тѣла отъ неподвижной точки во время этого движенія остается постоянно одно и тоже, то очевидно, что тѣло будетъ совершать свое движеніе по дугѣ круга, радіусъ котораго есть линія, соединяющая тѣло съ точкою привѣса и называмая *длиною маятника*. Въ каждой точкѣ этой дуги тяжесть будетъ доставлять новое приращеніе скорости тѣла и потому движеніе его будетъ *ускоренное*. Но это ускореніе движенія не будетъ происходить равномѣрно, какъ при движеніи тѣла по наклонной плоскости. И въ самомъ дѣлѣ, принявъ дугу, описываемую маятникомъ, за совокупность множества самыхъ малыхъ линій, легко замѣтить, что наклоненіе этихъ линій къ горизонту постоянно уменьшается, начиная отъ c до b (фиг. 375) и въ точкѣ b уничтожается совершенно. Понятно, что вмѣстѣ съ этимъ уменьшеніемъ угла склоненія линій, составляющихъ дугу движенія, и самая скорость движенія маятника *не можетъ быть равномѣрною*, какъ это бываетъ при паденіи тѣла по наклонной плоскости cb, при которой уголъ склоненія остается постоянно одинъ и тотъ же.

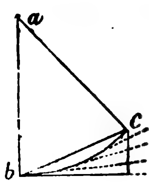
Фиг. 373.



Фиг. 374.



Фиг. 375.



Въ этой *неравномѣрности* движенія маятника мы можемъ убѣдиться еще болѣе, если опредѣлить силу движущую его въ зависимости отъ угла отклоненія.

Проведя изъ точки B (фиг. 374) линію BG отвѣсную къ AC, мы получимъ треугольникъ CBG, подобный треугольнику EBF, въ которомъ $EF=BD$, а BF = напряженію тяжести, выражаемому произведеніемъ изъ массы тѣла на величину притяженія земли. Изъ подобія этихъ треугольниковъ мы получимъ пропорцію $BD:BF=BG:BC$, откуда $BD=BF.\frac{BG}{BC}$. Изъ этого выраженія слѣдуетъ, что движущая сила дѣйствуетъ *постоянно*, какъ составляющая полнаго напряженія тяжести и что поэтому движеніе маятника, во время приближенія его къ вертикальной линіи, должно быть ускоренное, но при этомъ приростаніе скоростей будетъ постоянно уменьшаться, потому что движущая сила BD дѣлается тѣмъ менѣе, чѣмъ менѣе самая величина BG, выражающая отстояніе маятника отъ положенія его равновѣсія.

Какъ во время приближенія маятника къ положенію его равновѣсія тяжесть дѣйствуетъ на него непрерывно, то очевидно, что приростаніе скоростей будетъ продолжаться до тѣхъ поръ, пока маятникъ не достигнетъ отвѣсной линіи, на которой дѣйствіе тяжести будетъ вдругъ уничтожено сопротивленіемъ нити. Сопротивленіе это можетъ прекратить дѣйствіе тяжести въ моментъ вступленія тѣла на отвѣсную линію, но очевидно, что оно не можетъ уничтожить той скорости, которую пріобрѣло тѣло до достиженія этой линіи. Свойство инерціи заставляетъ тѣло продолжать движеніе по другую сторону отвѣсной линіи съ тою наибольшею скоростію, которую оно пріобрѣло въ послѣднюю частицу времени предъ достиженіемъ отвѣсной линіи.

Какъ связь тѣла съ осью движенія будетъ оставаться таже самая, то очевидно, что оно будетъ двигаться по дугѣ того же круга, но движеніе его будетъ уже равноукосненное, потому что по оставленіи отвѣсной линіи, одна изъ составляющихъ полнаго напряженія тяжести, тотчасъ начнетъ на него дѣйствовать, стремясь возвращать его въ положеніе равновѣсія. Какъ стремленіе это повторяется въ каждой точкѣ дальнѣйшаго пути, описываемаго тѣломъ по дугѣ, то очевидно, что скорость, сохраняемая имъ по инерціи, будетъ постоянно уменьшаться. Но для приведенія этой скорости къ нулю, т. е. для совершеннаго уничтоженія ея необходимо, чтобы тяжесть дѣйствовала на тѣло тоже самое время, какое оно употребило прежде для приведенія этой скорости отъ нуля до наибольшаго предѣла, т. е. до той скорости, до которой достигло тѣло въ моментъ вступленія его въ точку A. Это значитъ, что для приведенія къ нулю скорости, сохраняемой тѣломъ по инерціи, тяжесть должна дѣйствовать во все время движенія его по дугѣ AH, равной дугѣ AB.

Впрочемъ въ справедливости этого мы можемъ убѣдиться также, припомнивъ законы движенія тѣла по дугѣ круга, гдѣ какъ мы видѣли, скорость, полученная отъ дѣйствія тяжести опускающимся тѣломъ, вполнѣ достаточна для того, чтобы привести тоже самое тѣло и въ тоже самое время на туже высоту. Послѣ побѣжденія скорости сохраняемой тѣломъ по инерціи, оно будетъ повиноваться



въ точкѣ *H* только одному дѣйствію тяжести и придетъ въ то самое положеніе, въ которомъ оно было во время нахожденія своего въ точкѣ *B*. Тѣло начнетъ опускаться, достигнетъ отвѣсной линіи и потомъ поднимется снова, производя при паденіи равноускоренное, а при поднятіи равноукосненное движеніе; при прохожденіи же отвѣсной линіи оно будетъ сохранять наибольшую скорость. Величина дуги *BH*, выраженная въ градусахъ, минутахъ или секундахъ, называется *величиною* или *длиною размаха*, а самое движеніе по дугѣ *колебаніемъ* или *качаніемъ маятника*.

Въ прежнее время физики разумѣли подъ колебаніемъ два движенія маятника по дугѣ, т. е. движеніе отъ *B* до *H* и потомъ отъ *H* до *B*. Поэтому при чтеніи старинныхъ наблюдателей надъ маятникомъ, должно обращать вниманіе на то, какое именно колебаніе означено въ нихъ: простое или двойное.

Вслѣдствіе приведеннаго нами разсужденія понятно, что колебанія, при которыхъ величины размаха сохраняютъ одну и туже величину, должны продолжаться до тѣхъ поръ, пока какія нибудь важнѣйшія причины не измѣнятъ или наконецъ не прекратятъ его совершенно. Этого нельзя доказать непосредственнымъ опытомъ, потому что на поверхности земли нельзя произвести ни одного движенія такимъ образомъ, чтобы оно не встрѣчало сопротивленія. Препятствія, встрѣчаемыя при движеніи маятника, заключаются въ сопротивленіи воздуха и въ треніи на точкѣ привѣса. Оба эти препятствія постоянно уменьшаютъ величины размаха маятника, который приходитъ наконецъ въ состояніе равновѣсія, означаемое, какъ мы уже говорили отвѣснымъ положеніемъ. Но что безъ этихъ сопротивленій маятникъ долженъ дѣйствительно удовлетворять выведеннымъ нами условіямъ, видно изъ слѣдующаго обстоятельства: по мѣрѣ уменьшенія сопротивленій посредствомъ удобнаго привѣшиванія и придачи приличной формы колеблющемуся тѣлу, колебанія его продолжаются гораздо большее время и величины размаха все менѣе и менѣе разнятся между собою.

Законы движенія математическаго маятника.

§ 132. Маятникъ представляетъ намъ примѣръ колебаній, производимыхъ тяжестію. Понятно, что такія колебанія можетъ произвесть и всякая другая непрерывно дѣйствующая сила. Такъ напр. магнитная стрѣлка, выведенная изъ положенія равновѣсія, колеблется вслѣдствіе постояннаго дѣйствія на нее магнитнаго притяженія земли; упругая, натянутая струна колеблется вслѣдствіе частичной силы, постоянно стремящейся привести ее въ состояніе равновѣсія. Силы, производящія эти колебанія, совершенно различны какъ по своей природѣ, такъ и по величинѣ, но онѣ сходны между собою въ томъ отношеніи, что постоянно стремятся привести въ состояніе равновѣсія тѣло, выведенное изъ этого положенія. Поэтому законы, выведенные для колебательнаго движенія, не ограничиваются однимъ примѣненіемъ къ движеніямъ маятника, производимымъ тяжестію, но имѣютъ обширное приложеніе и для другихъ физическихъ явленій.

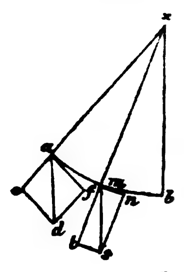
Какъ вообще въ научныхъ изслѣдованіяхъ, такъ и теперь, для изученія законовъ колебаній маятника, разсмотрѣніе должно начинаться съ простѣйшихъ случаевъ и отъ нихъ уже переходить къ болѣе сложнымъ. Самый простѣйшій случай очевидно представляетъ намъ колебаніе одной матеріяльной точки. Вообще говоря, матеріяльную точку нельзя представить себѣ колеблющеюся подобно маятнику, если она не привѣшена на какой нибудь нити или негибкомъ прутѣ, т. е. если она не соединена съ осью привѣса цѣлымъ рядомъ физическихъ точекъ, которыя приводятся въ колебательное движеніе вмѣстѣ съ привѣшенною къ нимъ точкою. Понятно, что вслѣдствіе такого отношенія матеріяльной точки къ точкамъ, служащимъ связью, послѣднія не могутъ не оказывать вліянія на ея качанія. При всемъ томъ нѣтъ никакого затрудненія представить себѣ идеальный маятникъ, состоящій только изъ одной матеріяльной точки, лежащей на нерастяжимой и неимѣющей вѣса нити. Такой маятникъ, котораго физически представить невозможно, называется *математическимъ* или *простымъ* маятникомъ, въ отличіе отъ маятника, висящаго на прутѣ или нити и называемаго *сложнымъ* или *физическимъ*. Какъ каждая точка физическаго маятника имѣетъ вѣсъ, то мы можемъ принять его за совокупность различной длины математическихъ маятниковъ, соединенныхъ между собою неизмѣннымъ образомъ.

Сперва обратимся къ изученію законовъ колебанія математическаго маятника и для повѣрки ихъ на опытѣ будемъ ограничиваться такимъ маятникомъ, который наиболѣе приближается къ математическому. Для этого берутъ самую тонкую нить, къ нижнему концу которой привѣшенъ шарикъ или двойной конусъ. Самыя нити дѣлаютъ изъ тонкихъ металлическихъ проволокъ или изъ волоконъ алое; послѣднія были употреблены французскими академиками при опытахъ ихъ подъ экваторомъ и Цахомъ въ Готѣ. Привѣшиваемая же масса должна состоять изъ вещества, имѣющаго по возможности большій относительный вѣсъ, какъ напр. свинецъ, латунь, серебро и платина.

Первый изъ этихъ законовъ состоитъ въ томъ, что *времена колебаній одного и того же математическаго маятника не зависятъ отъ величины дугъ колебаній, если только эти дуги не превышаютъ 5 градусовъ.*

Основаніе этого закона выводится изъ положеній прямолинейнаго движенія. Пусть x (фиг. 376) представляетъ точку привѣса математическаго маятника xb, а уголъ axb первоначальный уголъ отклоненія. Тяжесть дѣйствуетъ на матеріяльный пунктъ въ точкѣ a по вертикальному направленію ad. Но какъ a должна оставаться на дугѣ amb, то движеніе, направляемое безпрерывно по касательнымъ къ дугѣ, будетъ происходить, какъ мы уже видѣли, вслѣдствіе силы, составляющей извѣстную часть отъ полнаго напряженія тяжести. Часть эта получается отъ разложе-

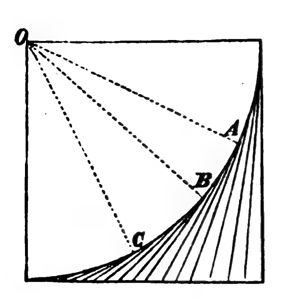
Фиг. 376.



нія силы *ad* на двѣ составляющія *ae* и *af*, перпендикулярныя другъ къ другу, изъ которыхъ первая вытягиваетъ нить, а вторая производитъ движеніе. Если взять другое положеніе маятника, напр. когда онъ отклонится отъ *xb* только на уголъ *mxb*, то тяжесть будетъ дѣйствовать на тотъ же самый матеріяльный пунктъ въ точкѣ *m* одинаковымъ образомъ, какъ и въ томъ случаѣ, когда онъ находился въ точкѣ *a*; вслѣдствіе чего мы можемъ принять силу *ms* равною и параллельною *ad*. Если разложить *ms* на составляющія *mt* и *mn*, то *mn* представитъ часть силы тяжести, употребляемой для приведенія въ движеніе точки *m* по направленію касательному къ дугѣ.

Посмотримъ теперь, въ какомъ отношеніи между собою находятся напряженія силъ *mn* и *af*. Раздѣливъ дугу *amb* на множество прямыхъ линій, мы можемъ принять ее за рядъ наклонныхъ плоскостей (фиг. 377), у которыхъ уголъ наклоненія постоянно увеличивается по мѣрѣ отклоненія его отъ точки, означающей равновѣсіе маятника. Вмѣстѣ съ увеличеніемъ угловъ наклоненія, будетъ также увеличиваться и величина той части тяжести, которая употребляется для скатыванія тѣла. Углы же наклоненія увеличиваются по мѣрѣ увеличенія угла отклоненія маятника; слѣдовательно вмѣстѣ съ увеличеніемъ угла отклоненія должна увеличиваться и величина двигающихъ силъ. Разсматривая отношеніе между углами отклоненія и двигающими силами съ математическою строгостію, найдемъ, что между обѣими этими величинами не существуетъ точной пропорціональности. Но погрѣшность, происходящая при допущеніи этого отношенія, будетъ тѣмъ менѣе, чѣмъ незначительнѣе самые углы отклоненія и наконецъ для угловъ отклоненія, равныхъ малому числу градусовъ, она такъ мала, что ею даже можно пренебречь совершенно при практическихъ примѣненіяхъ маятника. Такъ напр. если углы отклоненія *axb* и *mxb* (фиг. 376) не превышаютъ 5 градусовъ, то можно принять, что силы *af* и *mn*, скатывающія матеріяльный пунктъ по дугѣ *amb*, относятся между собою какъ самые углы отклоненія: если уголъ *axb* вдвое болѣе угла *mxb*, то и *af* будетъ вдвое болѣе *mn*. Если мы будемъ разсматривать такіе малые моменты времени, что пространства, пройденныя въ теченіи ихъ матеріяльнымъ пунктомъ, находящимся въ *a* и въ *m*, можно принять за безконечно малыя части относительно путей *amb* и *bm*, т. е. когда эти пространства можно считать за прямыя линіи, на протяженіи которыхъ напряженіе силъ *af* и *mn* почти совершенно остается неизмѣннымъ, то на основаніи выведеннаго нами отношенія между линіями *af* и *mn*, пространство, пройденное матеріяльнымъ пунктомъ въ первый моментъ времени въ точкѣ *a*, будетъ вдвое болѣе пространства, пройденнаго имъ въ тоже время въ точкѣ *m*. Понятно, что тоже самое отношеніе

Фиг. 377.



между пространствами должно существовать и для вторыхъ моментовъ движенія матеріяльнаго пункта изъ точекъ *a* и *m*. Точно такимъ же родомъ можемъ прійти къ заключенію, что пространство, пройденное матеріяльнымъ пунктомъ, опускающимся изъ точки *a* въ три первые момента времени, будутъ въ два раза болѣе пути, описаннаго въ тоже самое время матеріяльнымъ пунктомъ, опускающимся изъ точки *m*. Однимъ словомъ, тоже самое отношеніе должно существовать между пространствами, проходимыми въ равныя времена матеріяльнымъ пунктомъ, опускающимся изъ точекъ *a* и *m*. Поэтому дуга *mb* будетъ пройдена въ тоже самое время, въ которое опишется и вдвое большая дуга *ab*. Какъ силы, производящія движеніе маятника по дугѣ, пропорціональны угламъ отклоненія непревышающимъ извѣстнаго предѣла, то очевидно, что результатъ получился бы тотъ же самый, если бы при нашемъ разсужденіи мы взяли другія количественныя отношенія между величинами *ab* и *mb*: мы нашли бы, что большая и меньшія дуги отклоненія описываются однимъ и тѣмъ же маятникомъ въ равныя времена.

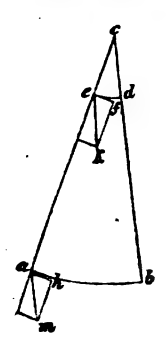
Законъ этотъ, называемый *изохронизмомъ* малыхъ качаній маятника, былъ показанъ впервые *Галилеемъ*.

Для повѣрки этого закона на опытѣ должно опредѣлить съ точностію время, потребное для совершенія маятникомъ нѣсколькихъ сотенъ колебаній. Если наблюдать время отъ начала движенія, когда дуги имѣютъ напр. отъ 4 до 5°, потомъ когда онѣ простираются отъ 2 до 3° и наконецъ когда колебанія сдѣлаются такъ малы, что должно наблюдать ихъ съ помощію лупы, то найдемъ всѣ эти три рода качаній изохроническими.

Второй законъ движенія маятника показываетъ, въ какой зависимости находится продолжительность одного колебанія отъ длины маятника. Его можно выразить слѣдующимъ образомъ: *продолжительность одного колебанія неравныхъ по длинѣ маятниковъ, пропорціональна квадратнымъ корнямъ изъ длины ихъ.* Такъ напр. если длина одного маятника относится къ длинѣ другаго, какъ 1 къ 4 и слѣдовательно, если квадратные корни изъ длины ихъ относятся какъ 1 къ 2, то и продолжительность одного колебанія втораго маятника, будетъ вдвое болѣе противу перваго.

Пусть *cd* и *cb* (фиг. 378) будутъ два математическіе маятника, которыхъ длины относятся какъ 1 къ 4 и положимъ, что оба маятника отклонены отъ положенія равновѣсія на одинъ и тотъ же уголъ. Дѣйствіе тяжести *am* на матеріяльный пунктъ въ точкѣ *a*, равно совершенно дѣйствію тяжести на одинаковый матеріяльный пунктъ, находящійся въ точкѣ *e*. Поэтому составляющія силы *ef* и *ah*, которыми опредѣляется движеніе по дугамъ *ed* и *ab*, также равны. Хотя эти силы, какъ и самая тяжесть, отъ разложенія которой онѣ образовались, должны дѣйствовать непрерывно, но величина ихъ измѣняется въ различныхъ

Фиг. 378.



точкахъ дугъ, по которымъ проходятъ матеріяльные пункты, подверженные дѣйствію силъ *ef* и *ah*. И въ самомъ дѣлѣ, когда оба эти пункта достигнутъ низшихъ точекъ, соотвѣтственныхъ имъ дугъ, то силы, обусловливающія движеніе ихъ, будутъ составлять уже меньшія части отъ цѣлаго напряженія тяжести, сравнительно съ тѣми частями, которыя соотвѣтствуютъ высшимъ точкамъ тѣхъ же самыхъ дугъ. Но на протяженіи весьма малаго пути, измѣненія въ величинѣ составляющихъ силъ будутъ весьма малы и конечно мы можемъ вообразить себѣ этотъ путь столь малымъ, что на протяженіи его составляющія силы будутъ дѣйствовать неизмѣнно и равномѣрно.

При такомъ предположеніи, на основаніи дѣйствія равноускорительныхъ силъ, пространства пройденныя въ неравныя времена относятся между собою какъ квадраты временъ, такъ что въ продолженіи вдвое большаго времени, должно быть пройдено въ четыре раза большее пространство. Изъ простыхъ началъ геометріи извѣстно, что дуги *ab* и *ed* пропорціональны радіусамъ, которые въ избранномъ нами примѣрѣ относятся какъ 4 къ 1. Поэтому матеріяльный пунктъ, находящійся въ *a*, употребитъ вдвое времени противу матеріяльнаго пункта, находящагося въ точкѣ *e*, для описанія одинаковаго центральнаго угла. Тоже самое должно быть и для всякаго другаго центральнаго угла, описываемаго матеріяльными пунктами, находящимися въ точкахъ *a* и *e*. Поэтому мы можемъ сказать вообще, что для прохожденія дуги *ab*, соотвѣтствующей тому же углу при *c*, которому соотвѣтствуетъ и дуга *ed*, одинъ и тотъ же матеріяльный пунктъ долженъ употребить вдвое болѣе времени, нежели для прохожденія дуги *ed*. Слѣдовательно, если длины маятниковъ относятся какъ 1 къ 4, то времена колебаній ихъ относятся какъ 1 къ 2, т. е. какъ квадратные корни изъ ихъ длины.

Законъ этотъ можетъ быть повѣренъ на опытѣ слѣдующимъ образомъ. Берутъ два маятника, изъ которыхъ одинъ въ четыре раза длиннѣе противу другаго и привѣшиваютъ ихъ къ двумъ точкамъ одной и той же горизонтальной линіи такимъ образомъ, чтобы одинъ изъ нихъ лежалъ позади другаго. Если вывести оба эти маятника изъ ихъ положеній равновѣсія, въ одну сторону и на одинаковое число градусовъ, какъ показываетъ фиг. 379, и потомъ въ одно и тоже время предоставить ихъ самимъ себѣ, то найдемъ, что они будутъ принимать послѣдовательно, относительно другъ друга, положенія, представленныя на фигурахъ 380, 381 и 382. Послѣ полнаго колебанія короткаго маятника, длинный сдѣлаетъ только половину качанія (фиг. 380); когда же послѣдній окончитъ колебаніе, первый придетъ въ точку, служившую началомъ его движенія (фиг. 381). Во время нахожденія длиннаго маятника по срединѣ обратнаго своего пути, короткій окончитъ третіе колебаніе (фиг. 382) и

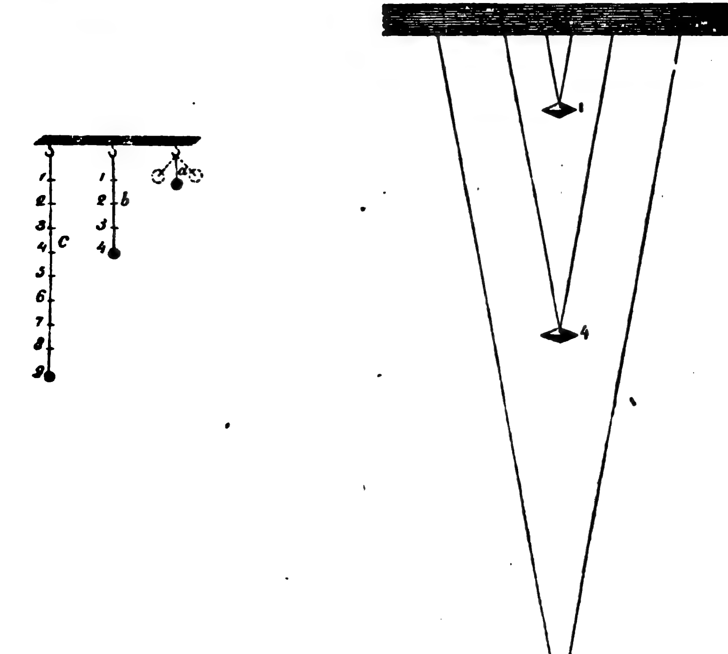
Фиг. 379, 380, 381 и 382.



наконецъ, большой маятникъ придетъ къ начальному положенію своему въ одно время съ короткимъ, такъ что оба они будутъ теперь относительно другъ друга какъ и при началѣ движенія (фиг. 379). Опытъ этотъ показываетъ ясно, что когда длинный маятникъ дѣлаетъ одно колебаніе, короткій оканчиваетъ два колебанія.

Точно также опытъ этотъ можетъ быть повѣренъ посредствомъ привѣшиваній, означенныхъ на фиг. 383 и 384, изъ которыхъ послѣднее привѣшиваніе наиболѣе удобно для практическаго употребленія.

Фиг. 383. *Фиг.* 384.

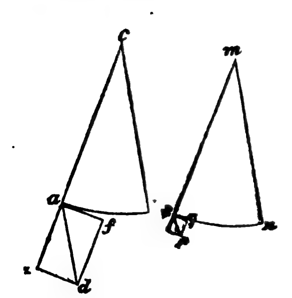


Третій законъ движенія маятника даетъ отношеніе между продолжительностію одного колебанія и величиною силы, производящей послѣднее. Законъ этотъ состоитъ въ томъ, что *времена одного колебанія обратно пропорціональны квадратнымъ корнямъ силъ, приводящихъ маятникъ въ движеніе*. Такъ напр. если силы, дѣйствующія на маятникъ одной и той же длины, относятся между собою какъ 1 къ 4 и слѣдовательно корни ихъ какъ 1 къ 2, то продолжительность одного колебанія маятника отъ первой силы будетъ относиться къ продолжительности одного его колебанія, производимаго второй силой, не какъ 1 къ 2. но какъ 2 къ 1. Поэтому маятникъ, приводимый въ движеніе тяжестію, которой напряженіе было бы въ 4 раза болѣе, противу дѣйствительно существующей на поверхности земли, окончитъ одно колебаніе въ половину времени, необходимаго

тому же маятнику для окончанія одного колебанія на земной поверхности.

Справедливость этого третьяго закона, подобно двумъ первымъ, можно вывести изъ положеній прямолинейнаго движенія. Пусть *cb* и *mn* (фиг. 385 и 386) будутъ два математическіе маятника равной длины, отклоненные отъ своего положенія на одинъ и тотъ же уголъ. Положимъ, что сила *ad*, дѣйствующая въ точкѣ *a*, въ четыре раза болѣе силы *sp*, дѣйствующей въ *s* на матеріяльный пунктъ, одинаковый по величинѣ съ пунктомъ находящимся въ *a*. Поэтому и составляющія силы *af* и *sq*, производящія движеніе матеріяльныхъ пунктовъ въ первые моменты времени по дугамъ *ab* и *sn*, относятся между собою какъ 4 къ 1. Для весьма малыхъ промежутковъ времени можно разсматривать дѣйствіе этихъ силъ какъ равномѣрно-ускорительное. При такомъ предположеніи пути, проходимые матеріяльными пунктами, находящимися въ *s* и въ *a* въ неравныя времена, относятся какъ квадраты этихъ временъ. Слѣдовательно если *w* выражаетъ длину пути, совершеннаго пунктомъ двигающимся изъ *s* въ одинъ изъ весьма малыхъ промежутковъ времени, то длина пути пройденнаго въ два такіе промежутка будетъ уже $4w$. Но путь, описываемый пунктомъ, двигающимся изъ *a* въ первый промежутокъ времени, также равенъ $4w$, потому что *af* въ четыре раза болѣе *sq*; значитъ первый пунктъ проходитъ въ два промежутка времени такую дугу, которую второй пунктъ описываетъ въ одинъ промежутокъ времени. Такимъ же образомъ дойдемъ до того, что для описанія дуги *sn* необходимо вдвое болѣе времени, чѣмъ для описанія одинаковой дуги *ab*, проходимой подъ вліяніемъ въ четыре раза большей силы. И такъ, если дѣйствующія силы относятся между собою какъ 4 къ 1, то времена колебаній маятника относятся какъ 1 къ 2, т. е. обратно пропорціонально квадратнымъ корнямъ этихъ силъ.

Фиг. 385 и 386.



Законъ этотъ показываетъ намъ, что маятникъ можетъ быть употребленъ для опредѣленія напряженія тяжести.

Оба послѣдніе закона можно выразить помощію одной математической формулы. Означивъ чрезъ α время, въ продолженіе котораго маятникъ, имѣющій единицу длины, совершаетъ полное колебаніе, т. е. описываетъ дугу, которой величина равна $2.ab$ (фиг. 378), и положимъ, что на него дѣйствуетъ сила, напряженіе которой способно сообщить свободно падающей матеріяльной точкѣ ускореніе равное одному футу. Тогда время, которое долженъ употребить, для совершенія одного полнаго колебанія, маятникъ, имѣющій длину l и подверженный дѣйствію силы, способной сообщить въ одну секунду ускореніе равное g футамъ, выразится уравненіемъ $t = \alpha\sqrt{\frac{l}{g}}$, и это уравненіе выражаетъ математическимъ языкомъ тоже самое, что было прежде сказано словами, т. е. что продолжительность одного колебанія t возрастаетъ въ отношеніи квадратнаго корня изъ длины маятника l и уменьшается въ отношеніи квадратнаго

корня изъ силы, за мѣру которой здѣсь принято ускореніе, сообщаемое ею. Для длины маятника l' и для силы съ ускореніемъ g', продолжительность одного колебанія t' опредѣлится уравненіемъ $t' = \alpha\sqrt{\frac{l'}{g'}}$. Поэтому $t : t' = \frac{\sqrt{l}}{\sqrt{g}} : \frac{\sqrt{l'}}{\sqrt{g'}}$; это уравненіе еще очевиднѣе выражаетъ математическимъ языкомъ законы выведенные для маятника. Здѣсь не показывается чему равно α, но значеніе его легко опредѣлить посредствомъ опыта. Въ самомъ дѣлѣ, опредѣливъ время одного колебанія t для маятника, имѣющаго длину l и колеблящагося подъ вліяніемъ силы, которая сообщаетъ ускореніе $= g$ футамъ, получимъ изъ уравненія $t = \alpha\sqrt{\frac{l}{g}}$ величины t, l и g, съ помощію которыхъ найдется и α. Но величину α можно вывести также и теоретически, потому что съ помощію высшаго анализа можно вычислить время t, потребное для совершенія полнаго колебанія, при произвольномъ значеніи l и g, а потому и для того случая, когда l и g равны единицѣ. Такимъ образомъ найдено, что $\alpha = \pi$ и потому $t = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}$, гдѣ π есть отношеніе окружности къ діаметру, принятому равнымъ 2, т. е. $\pi = 3{,}1416$.

Если исключить величину g изъ этого уравненія, полученнаго для времени колебанія t, то получимъ: $g = \frac{\pi^2 . l}{t^2}$. Въ частномъ случаѣ, когда π = единицѣ времени, т. е. когда оно равно одной секундѣ, g будетъ равно $\pi^2 . l = 3{,}1416^2 . l = 9.8696 . l$.

Какъ въ этомъ послѣднемъ уравненіи величина l выражаетъ длину такого маятника, котораго качанія совершаются ровно въ одну секунду, т. е. *длину секунднаго маятника*, то выведенный нами результатъ можетъ быть выраженъ такимъ образомъ: *скорость, которую пріобрѣтаетъ тѣло въ одну секунду, при свободномъ паденіи подъ вліяніемъ тяжести, равна произведенію изъ длины секунднаго маятника на число* 9,8696. Поэтому, если длина секунднаго маятника можетъ быть измѣрена точно, до одной сотой части линіи, то употребивъ ее для вычисленія ускоренія g, мы получимъ величину послѣдняго гораздо точнѣе, нежели изъ другихъ способовъ, употребленныхъ съ тою же цѣлію, какъ то посредствомъ измѣренія пространства въ прямыхъ опытахъ паденія тѣлъ по наклонной плоскости и на Атвудовой машинѣ.

Изъ наблюденій опредѣлено, что длина секунднаго маятника въ Петербургѣ равна 97,17 дюйма. Принимая $\pi = 3{,}14$ и подставляя эти числа въ уравненіе, выведенное для g, получимъ, что послѣдняя величина равна въ Петербургѣ 32,2 фута.

§ 133. Показанные нами законы относятся къ математическому маятнику. Только въ этомъ случаѣ величина ускоренія g, выведенная, при помощи вычисленій, въ зависимости отъ длины секунднаго маятника ($g = l . 9{,}8696$, гдѣ l есть длина секунднаго маятника), имѣетъ точное значеніе. Конечно, представить себѣ подобный маятникъ легко, но устроить его невозможно, потому что онъ долженъ, какъ мы уже знаемъ, состоять изъ простой невѣсомой нити, оканчивающейся только однимъ матеріяльнымъ пунктомъ. Физическій маятникъ.

Сколько бы мы не приближались къ математическому маятнику искусственнымъ образомъ, но никогда не можемъ достигнуть въ точности до него, потому что какъ бы ни была тонка нить, связывающая матеріяльный пунктъ съ точкою привѣса, во всякомъ случаѣ

она будетъ состоять изъ большей или меньшей совокупности матеріяльныхъ точекъ. Однимъ словомъ, всякій составленный нами маятникъ можетъ быть только сложный, а не математическій.

Для разсмотрѣнія движенія сложнаго маятника, обратимся сперва *Фиг.* 387. къ самому простѣйшему случаю и для того представимъ себѣ такой маятникъ, который состоитъ только изъ двухъ матеріяльныхъ частицъ m и n (фиг. 387). На основаніи втораго закона, показывающаго, что времена качаній относятся между собою какъ корни квадратные изъ длины маятниковъ: частица m, находящаяся ближе къ точкѣ привѣса, должна бы качаться быстрѣе противу частицы n, но какъ обѣ частицы мы предполагаемъ соединенными между собою, то очевидно, что m должно ускорять движеніе n и на оборотъ, движеніе m будетъ замедляться частицею n. Поэтому общія ихъ качанія будутъ совершаться съ нѣкоторою скоростію, заключающеюся между скоростями, съ которыми качались бы частицы m и n каждая отдѣльно. Значитъ качанія обѣихъ, соединенныхъ между собою частицъ m и n, будутъ соотвѣтствовать качаніямъ простаго маятника, который длиннѣе fm и короче fn. Тоже самое происходитъ и во всякомъ физическомъ маятникѣ: частицы, лежащія близь точки его опоры, имѣютъ стремленіе качаться быстрѣе отдаленныхъ, но какъ всѣ онѣ находятся между собою въ связи, то очевидно, что качаніе ихъ должно совершаться одновременно. Поэтому въ каждомъ сложномъ маятникѣ необходимо должна быть точка, которой движеніе не ускоряется, не замедляется прочею массою и которая, слѣдовательно, движется точно также, какъ простой маятникъ, равный по длинѣ разстоянію этой точки отъ оси привѣса. Такая точка называется *центромъ качанія*. Когда говорится о длинѣ сложнаго маятника, то подъ этимъ разумѣется разстояніе центра качанія отъ точки привѣса, или что одно и тоже, длина математическаго маятника, совершающаго свои качанія въ одно время съ даннымъ физическимъ.

Опредѣленіе длины и продолжительности колебанія физическаго маятника.

§ 134. Какъ при опытахъ можно употреблять только сложный маятникъ, то для опредѣленія посредствомъ маятника напряженія тяжести, которая согласно приведенному нами математическому разсмотрѣнію, находится въ зависимости отъ длины секунднаго маятника, представляется два затрудненія: *вопервыхъ*, найти длину простаго маятника, совершающаго свои качанія также скоро, какъ и сложный маятникъ, употребленный для наблюденія, и *вовторыхъ*, опредѣлить съ достаточною точностію продолжительность одного колебанія. Длину простаго маятника, соотвѣтствующаго физическому, находятъ или приблизительно посредствомъ опыта, или болѣе точнымъ образомъ съ помощію вычисленій.

Въ первомъ случаѣ берутъ такой физическій маятникъ, который ближе всего подходитъ къ математическому и который, какъ мы го-

ворили выше, долженъ состоять изъ тончайшей нити съ небольшимъ платиновымъ шарикомъ. Если такой маятникъ повѣсить возлѣ какого нибудь сложнаго и потомъ укорачивать или удлиннять первый до тѣхъ поръ, пока оба они не будутъ совершать своихъ качаній одновременно, то очевидно, что мы получимъ приблизительно длину простаго или математическаго маятника, котораго качанія будутъ имѣть одинаковую продолжительность со сложнымъ. Длина этого простаго маятника и выразитъ намъ приблизительно разстояніе центра качаній сложнаго маятника отъ точки его привѣса.

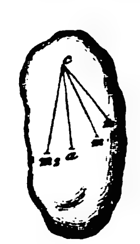
Для болѣе точнаго опредѣленія центра качанія, прибѣгаютъ къ помощи вычисленій, основанныхъ на законахъ инерціи.

Изъ общихъ законовъ движенія и равновѣсія, мы видѣли, что подъ моментомъ инерціи какой нибудь массы, разумѣется произведеніе изъ массы на квадратъ ея разстоянія отъ оси вращенія.

Изъ закона моментовъ инерціи слѣдуетъ, что двѣ произвольно взятыя массы могутъ только въ такомъ случаѣ совершать движенія около точки вращенія съ одинаковою угловою скоростію, когда онѣ находятся между собою въ обратномъ отношеніи ихъ квадратовъ разстояній отъ оси вращенія.

Понятно, что законы моментовъ инерціи, выведенные для всякой произвольной силы, какъ напр. для толчка или удара, могутъ быть примѣнены и къ дѣйствію силы, производящей равноускоренное движеніе, какъ напр. къ силѣ тяжести въ томъ случаѣ, если она дѣйствуетъ на какую нибудь массу, прикрѣпленную къ оконечности рычага, другая оконечность котораго представляетъ ось вращенія.

Положимъ, что чрезъ c (фиг. 388) проходитъ ось вращенія тѣла, состоящаго изъ матеріяльныхъ точекъ m, m_1, m_2, и т. д. разстоянія этихъ точекъ отъ оси вращенія c пусть будутъ по порядку r, r_1, r_2, и т. д.; a — центръ тяжести тѣла, котораго разстояніе ac отъ оси вращенія c равно Z и наконецъ Q вѣсъ маятника. Моменты инерціи матеріяльныхъ точекъ m, m_1, m_2, будутъ по порядку $mr^2, m_1 r_1^2, m_2 r_2^2$. Моментъ инерціи массы M, которая приведена къ разстоянію отъ оси вращенія равному единицѣ длины есть $M.1^2$, т. е. M. — Если масса M, должна замѣнить матеріяльныя частицы, то $M = mr^2 + m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + \ldots$ Этотъ рядъ имѣетъ столько членовъ, сколько въ тѣлѣ матеріяльныхъ точекъ. — Сумму ихъ обыкновенно означаютъ буквою S, которую ставятъ передъ первымъ членомъ. Поэтому $M = Smr^2$. — Движущая сила въ настоящемъ случаѣ есть вѣсъ тѣла Q, точка же приложенія этой силы находится въ центрѣ тяжести a. — Отъ дѣйствія Q на точку a происходитъ извѣстное дѣйствіе P на разстояніи равномъ единицѣ длины. Такъ какъ оба эти дѣйствія должны быть одинаковы, то по законамъ рычаговъ получимъ $P.1. = ac.Q$, изъ которыхъ послѣднее есть ничто иное какъ $z.Q$. Поэтому движеніе физическаго маятника будетъ точно такое же, какъ и движеніе простаго маятника, котораго длина равна единицы длины, матеріяльная точка есть масса $M = S\,mr^2$, а движущая сила — $P = z.Q$. Слѣдовательно постоянное давленіе на единицу массы этого маятника, а вмѣстѣ съ тѣмъ и ускореніе матеріяльной его точки будетъ $\frac{Z.Q}{S\,mr^2}$. Какъ Q есть вѣсъ массы маятника, масса котораго равна Sm, то будемъ имѣть также $Sm = \frac{Q}{g}$, а слѣдовательно $Q = g\,Sm$. Подставляя эту величину въ уравненіе $\frac{z.Q}{S\,mr^2}$, получимъ $\frac{z.g\,Sm}{S\,mr^2}$.



Фиг. 388.

Результатъ этотъ можетъ быть выраженъ слѣдующимъ образомъ: простой маятникъ, равный по длинѣ одному футу, совершаетъ колебанія одновременно

съ физическимъ маятникомъ, если сила, дѣйствующая на простой маятникъ, производитъ ускореніе равное $\frac{z \cdot gSm}{Smr^2}$. Ускореніе же для простаго маятника, равнаго по длинѣ одному футу, есть одно только ускореніе силы тяжести, которое поэтому должно быть равно g. Представимъ теперь себѣ, что съ простымъ маятникомъ, ускореніе котораго мы опредѣлили, соединенъ прутикъ неимѣющій никакого вѣса и равный по длинѣ y; тогда ускореніе при круговомъ движеніи точки, удаленной отъ c на y футовъ будетъ также въ y разъ болѣе нежели ускореніе точки, отстоящей отъ c только на одинъ футъ, т. е. ускореніе ея будетъ $y . \frac{zgSm}{Smr^2}$. Если y должно имѣть такую величину, чтобы конечная точка этой линіи имѣла ускореніе равное g, то получимъ $y . \frac{zgSm}{Smr^2} = g$, откуда $y = \frac{Smr^2}{zSm}$. Поэтому неимѣющій вѣса прутъ, котораго длина равна y совершаетъ колебаніе одновременно съ физическимъ маятникомъ, но вмѣстѣ съ тѣмъ онъ одновремененъ также и съ математическимъ маятникомъ. Значитъ, что длина математическаго маятника, который совершаетъ колебанія въ одно время съ физическимъ, выражается уравненіемъ $y = \frac{Smr^2}{z . Sm}$, т. е. *длина физическаго маятника, совершающаго свои качанія одновременно съ математическимъ, равна суммѣ моментовъ инерціи всѣхъ точекъ его, раздѣленной на произведеніе изъ массы на разстояніе центра тяжести ея отъ оси вращенія.* Послѣднее произведеніе, представляющее статическій моментъ центра тяжести, есть ничто иное какъ сумма статическихъ моментовъ всѣхъ точекъ массы относительно ихъ общей оси вращенія: т. е. $z . Sm = mz + m' z' + \ldots$..

Если же мы имѣемъ маятникъ, у котораго часть массы находится *надъ* осью вращенія, то моменты вращенія точекъ, лежащихъ надъ осью, будутъ противоположны моментамъ вращенія точекъ, находящихся *подъ* осью. На этомъ основаніи статическіе моменты частицъ, лежащихъ надъ осью войдутъ въ знаменатель, выведенной нами, дроби $y = \frac{Smr^2}{z . Sm}$ съ отрицательнымъ знакомъ; такъ напр., если имѣемъ двѣ матеріяльныя части m и m', изъ которыхъ послѣдняя лежитъ надъ осью вращенія, то вмѣсто $z . Sm = mz + m' z'$ получимъ $mz - m' z'$. Отъ введенія отрицательной величины въ знаменатель величина его уменьшится, а съ уменьшеніемъ знаменателя самая дробь, выражающая длину физическаго маятника, увеличится. Значитъ, когда часть массы находится надъ осью вращенія, то длина маятника становится большею и слѣдовательно качанія его дѣлаются медленнѣе.

Не должно полагать, чтобы центръ качанія совпадалъ съ центромъ тяжести физическаго маятника. Мы можемъ легко убѣдиться въ справедливости этого изъ разсмотрѣнія качаній такого маятника, у котораго часть массы находится надъ точкою привѣса. Маятникъ этотъ будетъ качаться гораздо медленнѣе нежели въ томъ случаѣ, когда бы центръ тяжести его совпадалъ съ центромъ качанія. На фиг. 389 представленъ, снабженный дѣленіями прямой прутъ, по срединѣ котораго находится трехсторонняя ось a на подобіе оси коромысла вѣсовъ. Если выше и ниже этой оси въ разстояніи 1 дециметра прикрѣпить къ пруту двѣ свинцовыя гири, c и d, каждую въ 2 фунта вѣсу, то прутъ съ находящимися на немъ гирями будетъ находиться въ состояніи безразличнаго равновѣсія, потому что общій центръ тяжести всѣхъ составляющихъ его точекъ будетъ совпадать съ осью вращенія. Если же къ нижнему концу прута прикрѣпить небольшой противовѣсъ, то вся система точекъ составитъ маятникъ. Качанія этого маятника будутъ несравненно медленнѣе противу качаній простаго маятника, котораго длина равна ab, потому что единственная сила, приводящая въ движеніе всю

Фиг. 389.

c
a
d
b

систему, есть дѣйствіе тяжести на нижній противовѣсъ: послѣдній долженъ привести въ движеніе не только свою собственную массу (какъ это было при простомъ маятникѣ, у котораго центръ качаній совпадаетъ съ центромъ тяжести), но также массы гирь c и d.

Этимъ объясняется, почему коромысло, на которое мы можемъ смотрѣть какъ на маятникъ, качается весьма медленно, не взирая на то, что центръ тяжести его лежитъ весьма близко подъ точкою привѣса. Медленность его качаній, зависящая отъ увеличенія разстоянія между осью и центромъ качаній, происходитъ отъ того, что послѣдняя точка лежитъ ниже центра тяжести. И въ самомъ дѣлѣ, если бы оба эти центра совпадали между собою, то качанія коромысла совершались бы гораздо скорѣе противу того, какъ они происходятъ на самомъ дѣлѣ.

Съ помощію вычисленій можно доказать, что центръ качанія во всякомъ сложномъ маятникѣ долженъ находоться ниже центра тажести и различіе между разстояніями обѣихъ этихъ точекъ отъ оси вращенія бываетъ тѣмъ менѣе, чѣмъ болѣе центръ тяжести удаленъ отъ точки привѣса. Вотъ почему при употребленіи небольшаго шарика, привѣшеннаго къ тонкой и очень длинной нити, мы можемъ безъ замѣтной погрѣшности принять центръ тяжести шарика за центръ качанія, и слѣдовательно удаленіе этого центра качанія отъ точки привѣса принять за истинную длину маятника.

Центръ качанія имѣетъ весьма важное свойство для всѣхъ практическихъ примѣненій маятника. Именно, если извѣстно положеніе центра качаній маятника, то послѣдній можно привѣсить за центръ качанія его и на этой новой оси вращенія онъ будетъ совершать колебанія одновременно съ первымъ своимъ положеніемъ.

Не вдаваясь въ математическое доказательство этого свойства, мы докажемъ справедливость его по крайней мѣрѣ на одномъ частномъ примѣрѣ.

Положимъ, что у насъ есть маятникъ, состоящій изъ двухъ равныхъ массъ m, укрѣпленныхъ въ разстояніи 80 и 120 сантиметровъ отъ оси вращенія. Мы знаемъ, что длина простаго маятника, одновременнаго по качаніямъ съ физическимъ, будетъ равна суммѣ моментовъ инерціи всѣхъ точекъ послѣдняго раздѣленной на произведеніе изъ массы его на разстояніе центра тяжести отъ оси вращенія или, говоря другими словами, раздѣленной на сумму статическихъ моментовъ всѣхъ точекъ его относительно оси вращенія.

Основываясь на этомъ, для взятаго нами случая длина простаго маятника будетъ: $\frac{m \cdot 120^2 + m \cdot 80^2}{m \cdot 120 + m \cdot 80} = \frac{12^2 + 8^2}{12+8} \cdot 10 = 104$ сантиметрамъ.

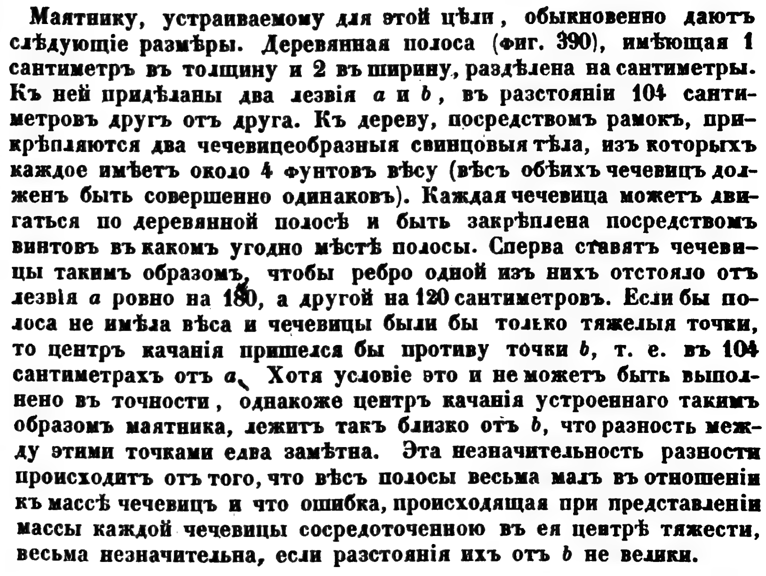
Повѣряя опытомъ выведенный нами результатъ, увидимъ, что качанія маятника, состоящаго изъ двухъ шариковъ, которые привѣшены на упомянутыхъ разстояніяхъ, будутъ равны качаніямъ приблизительнаго простаго маятника, имѣющаго 104 сантиметра длины.

Въ выбранномъ нами случаѣ, разстояніе центра качаній отъ нижняго шарика будетъ равно 120 — 104 или 16 сант., а отъ верхняго — 104 — 80 или 24 сантиметрамъ.

Положимъ, что взятый нами маятникъ перевернутъ и что центръ его качанія сдѣлался точкою привѣса; въ этомъ случаѣ мы будемъ имѣть маятникъ, состоящій изъ двухъ равныхъ массъ, изъ которыхъ одна находится на 24 сантиметра ниже, а другая на 16 сантиметровъ выше точки привѣса. Поэтому теперь длина простаго маятника будетъ $\frac{24^2 + 16^2}{24+16} = \frac{832}{8} = 104$ сантиметрамъ. Слѣдовательно прежняя точка привѣса сдѣлалась, въ самомъ дѣлѣ, при оборачиваніи центромъ качанія.

Если бы надобно было подтвердить опытомъ это свойство центра качанія, то очевидно, что нельзя было бы употребить маятникъ, состоящій изъ двухъ шариковъ, висящихъ на нити, а нужно взять маятникъ, состоящій изъ негибкаго прута, вѣсъ котораго долженъ быть весьма незначителенъ, сравнительно съ прикрѣпленными къ нему массами.

Фиг. 390.



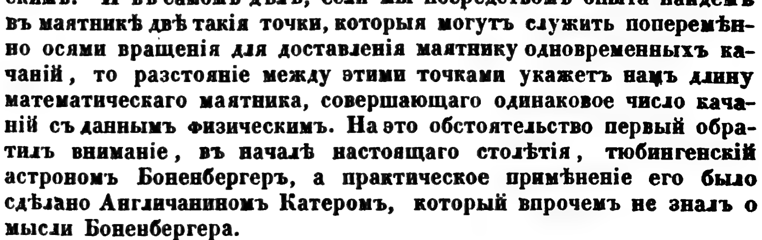
Маятнику, устраиваемому для этой цѣли, обыкновенно даютъ слѣдующіе размѣры. Деревянная полоса (фиг. 390), имѣющая 1 сантиметръ въ толщину и 2 въ ширину, раздѣлена на сантиметры. Къ ней придѣланы два лезвія *a* и *b*, въ разстояніи 104 сантиметровъ другъ отъ друга. Къ дереву, посредствомъ рамокъ, прикрѣпляются два чечевицеобразныя свинцовыя тѣла, изъ которыхъ каждое имѣетъ около 4 фунтовъ вѣсу (вѣсъ обѣихъ чечевицъ долженъ быть совершенно одинаковъ). Каждая чечевица можетъ двигаться по деревянной полосѣ и быть закрѣплена посредствомъ винтовъ въ какомъ угодно мѣстѣ полосы. Сперва ставятъ чечевицы такимъ образомъ, чтобы ребро одной изъ нихъ отстояло отъ лезвія *a* ровно на 180, а другой на 120 сантиметровъ. Если бы полоса не имѣла вѣса и чечевицы были бы только тяжелыя точки, то центръ качанія пришелся бы противу точки *b*, т. е. въ 104 сантиметрахъ отъ *a*. Хотя условіе это и не можетъ быть выполнено въ точности, однакоже центръ качанія устроеннаго такимъ образомъ маятника, лежитъ такъ близко отъ *b*, что разность между этими точками едва замѣтна. Эта незначительность разности происходитъ отъ того, что вѣсъ полосы весьма малъ въ отношеніи къ массѣ чечевицъ и что ошибка, происходящая при представленіи массы каждой чечевицы сосредоточенною въ ея центрѣ тяжести, весьма незначительна, если разстоянія ихъ отъ *b* не велики.

Маятникъ этотъ, привѣшенный къ точкѣ *a*, совершаетъ 59 качаній въ одну минуту; столько же качаній онъ дѣлаетъ и въ томъ случаѣ, когда перевернуть его и привѣсить въ *b*.

Это свойство центра качанія, выведенное нами для маятника, состоящаго изъ двухъ частицъ, можетъ быть доказано съ помощію высшей математики и для всякаго сложнаго маятника.

Свойствомъ этимъ пользуются для опредѣленія на опытѣ длины математическаго маятника, совершающаго одновременныя качанія съ даннымъ физическимъ. И въ самомъ дѣлѣ, если мы посредствомъ опыта найдемъ въ маятникѣ двѣ такія точки, которыя могутъ служить попремѣнно осями вращенія для доставленія маятнику одновременныхъ качаній, то разстояніе между этими точками укажетъ намъ длину математическаго маятника, совершающаго одинаковое число качаній съ даннымъ физическимъ. На это обстоятельство первый обратилъ вниманіе, въ началѣ настоящаго столѣтія, тюбингенскій астрономъ Боненбергеръ, а практическое примѣненіе его было сдѣлано Англичаниномъ Катеромъ, который впрочемъ не зналъ о мысли Боненбергера.

Фиг. 391.



Чтобы опредѣлить посредствомъ перевертыванія длину математическаго маятника, соотвѣтствующаго данному физическому, Катеръ употребляетъ слѣдующій способъ. Къ правильно обдѣланной металлической полосѣ (фиг. 391) прикрѣпляются двѣ призмы *a* и *b*, обращенныя другъ къ другу острыми ребрами. Призмы эти располагаются такимъ образомъ, чтобы маятникъ на ребрѣ *a* совершалъ колебанія въ одно и тоже время, какъ и на ребрѣ *b*. Условіе это будетъ достигнуто въ томъ случаѣ, если второе ребро проходитъ именно чрезъ центръ качанія (*b*) маятника, висящаго на ребрѣ *a*.

Если мы желаемъ произвести подобное опредѣленіе длины математическаго маятника на такой полосѣ, къ которой заранѣе придѣланы призмы *a* и *b*, то прибѣгаютъ къ помощи подвижныхъ гирь *v* и *w*. Гири эти передвигаютъ по длинѣ маятника до тѣхъ поръ, пока онъ на обѣихъ точкахъ привѣса *a* и *b* не будетъ качаться одновременно.



Устроенный такимъ образомъ маятникъ, у котораго разстояніе между осями равно длинѣ простаго маятника, совершающаго одновременныя съ нимъ качанія, называется *возвратнымъ маятникомъ*.

Зная какимъ образомъ посредствомъ вычисленій и опытовъ опредѣлять длину простаго маятника, совершающаго одновременныя качанія съ даннымъ физическимъ, мы можемъ теперь опредѣлить продолжительность одного колебанія физическаго маятника. На основаніи законовъ качанія математическаго маятника мы знаемъ, что продолжительность одного колебанія его при длинѣ l равна $\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$. Слѣдовательно для полученія продолжительности одного колебанія физическаго маятника, должно въ приведенной нами величинѣ $\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$, подставить вмѣсто l равную ему величину $\frac{Smr^2}{z \, . \, Sm}$; чрезъ что получимъ $t = \pi\sqrt{\frac{Smr^2}{g \, . \, zSm}}$.

§ 135. При устройствѣ физическаго маятника должно также обращать вниманіе и на тѣ обстоятельства, которыя замедляютъ движеніе его: это треніе въ точкѣ привѣса и сопротивленіе воздуха. Но какъ препятствія эти нельзя устранить совершенно, то по крайней мѣрѣ стараются ихъ уменьшить по возможности. Съ этою цѣлію маятнику даютъ обыкновенно форму тонкаго прута ab (фиг. 392), вверху котораго для уменьшенія тренія прикрѣплена стальная призма c, лежащая во время качаній острымъ ребромъ на агатовой плоскости. Внизу же маятника прикрѣплено чечевицеобразное тѣло o, которое по причинѣ достаточнаго своего вѣса и заостренной формы, удобно разсѣкаетъ окружающій воздухъ. Устройство физическаго маятника.

Фиг. 392.

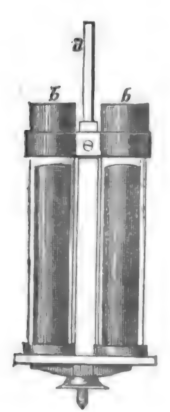


Какъ всѣ тѣла расширяются отъ теплоты, то очевидно, что и длина маятника должна увеличиваться при возвышеніи температуры, точно также какъ эта длина уменьшается при пониженіи послѣдней. Понятно, что въ первомъ случаѣ качанія маятника будутъ совершаться медленнѣе, а во второмъ — скорѣе. Такъ напр. нашли по опыту, что при измѣненіи температуры на 5° Р. маятникъ, состоящій изъ мѣднаго прута, измѣнялъ свой ходъ на 5″, 5, изъ стальнаго прута на 3″, 6, а изъ стекляннаго на 1″, 6. Чтобы устранить это вліяніе температуры на маятникъ и чрезъ то доставить качаніямъ его по возможности большую равномѣрность, берутъ для прута такія вещества, которыхъ расширеніе весьма незначительно при обыкновенной температурѣ воздуха, какъ напр. хорошо высушенную ель или сосну; выбранное для прута дерево пропитываютъ масломъ и для предохраненія отъ дѣйствія влажности, которая могла бы увеличивать вѣсъ маятника и заставлять его качаться скорѣе нормальнаго своего положенія, покрываютъ поверхность прута лакомъ или обтягиваютъ поверхность ея золотыми листиками. Но какъ при этомъ нельзя достигнуть совершенно цѣли, то прибѣгаютъ къ такъ называемому *вознагражденію*, которое основывается на различіи расширенія тѣлъ отъ теплоты.

Для этого составляютъ маятникъ изъ нѣсколькихъ частей различно расширяющихся при одной и той же температурѣ и разсчитываютъ такъ, чтобы во время каждаго измѣненія температуры одни части его понижались, а другія возвышались. Мы укажемъ здѣсь на два способа вознагражденія.

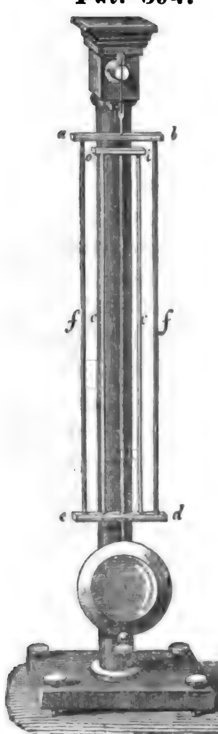
Первый способъ наиболѣе простѣйшій и употребительный въ настоящее время, предложенъ англійскимъ механикомъ Греэмомъ. Къ оконечности желѣзной полосы, составляющей прутъ маятника, придѣланы два *стеклянные сосуда* (фиг. 393), *наполненные ртутью*, металломъ, расширеніе котораго весьма значительно. Эти сосуды съ ртутью, имѣющею большой удѣльный вѣсъ, замѣняютъ мѣсто чечевицы. Когда желѣзная полоса удлинняется книзу отъ дѣйствія теплоты, въ тоже время ртуть расширяется въ 17 разъ сильнѣе кверху. При расширеніи желѣза увеличивается длина многихъ математическихъ маятниковъ входящихъ въ составъ его, но взамѣнъ того расширеніе ртути значительно укорачиваетъ длину другихъ математическихъ маятниковъ желѣзной полосы. При опытахъ должно опредѣлить, какое именно количество ртути необходимо для того, чтобы колебанія маятника сохраняли одинаковую продолжительность при всѣхъ измѣненіяхъ температуры воздуха. Такой маятникъ называется собственно *вознаградительнымъ*.

Фиг. 393.





Фиг. 394.



Другой же родъ вознагражденія представляетъ, такъ называемый, *уравнительный* маятникъ, состоящій изъ нѣсколькихъ полосъ двухъ различно расширяющихся металловъ, какъ напр. мѣди и стали. На фигурѣ 394-й представленъ маятникъ, состоящій изъ трехъ стальныхъ и двухъ цинковыхъ полосъ. Изъ стали состоятъ двѣ наружныя полосы и самый прутъ маятника, къ которому привѣшена чечевица; двѣ же среднія полосы *c* и *c* сдѣланы изъ цинка. Какъ цинкъ расширяется почти въ два раза болѣе противу стали, то легко понять, что посредствомъ меньшаго числа цинковыхъ полосъ, вытягивающихся кверху и слѣдовательно поднимающихъ прутъ маятника, можно *уравнивать* пониженіе удлинняющихся стальныхъ полосъ, если только дадимъ длинамъ полосъ размѣры соотвѣтственные различному расширенію ихъ.

Намъ остается прибавить здѣсь еще одно обстоятельство, имѣющее вліяніе на продолжительность колебаній маятника. Какъ маятникъ

окруженъ воздухомъ, поддерживающимъ совсѣхъ сторонъ частицы его, то очевидно, что чрезъ это должно уменьшаться дѣйствіе на него тяжести. Вслѣдствіе того происходитъ потеря вѣса, которая какъ мы увидимъ впослѣдствіи равна вѣсу равнаго по объему количества воздуха. Съ потерею же вѣса маятникъ долженъ качаться медленнѣе. До Бесселя полагали, что только необходимо знать потерю вѣса маятника въ воздухѣ для вычисленія уменьшенія скорости, производимой сопротивленіемъ послѣдняго. Это предположеніе основывали на томъ, что сопротивленіе воздуха, уменьшающее скорость маятника при опускающемся движеніи и слѣдовательно увеличивающее продолжительность его, по той же самой причинѣ уменьшаетъ продолжительность поднимающагося движенія. Но при этомъ упускали изъ виду, что при колебаніяхъ маятника происходятъ сжатія и расширенія воздуха, окружающаго его. Вслѣдствіе того образуются новыя колебанія, которыя должны быть принимаемы въ разсчетъ при опредѣленіи колебаній самаго маятника.

Съ помощію опытовъ и вычисленій, основанныхъ на приведенномъ нами обстоятельствѣ, которое было предложено Бесселемъ, найдено, что маятникъ, который по старымъ вычисленіямъ долженъ терять только 6 секундъ въ 24 часа, терялъ въ дѣйствительности около 10 секундъ.

Примѣненія маятника.

§ 136. Теперь обратимся къ примѣненіямъ маятника. Примѣненія эти играютъ весьма важную роль какъ въ общежитіи, такъ и при ученыхъ изслѣдованіяхъ.

Начнемъ здѣсь съ примѣненій, встрѣчающихся въ общежитіи.

1) Мы встрѣчаемъ замѣчательное примѣненіе законовъ качаній маятника при ходьбѣ человѣка. Примѣненіе это, замѣченное впервые братьями Веберами, заключается въ слѣдующемъ. Каждая изъ нашихъ ногъ, поднятая отъ земли и предоставленная самой себѣ, качается на подобіе маятника; такъ напр. если мы при ходьбѣ выдвигаемъ лѣвую ногу впередъ, то съ нею подается впередъ и все тѣло вмѣстѣ съ частями, къ которымъ прикрѣплены кости ногъ. Вслѣдствіе того правая нога, выходящая изъ вертикальнаго положенія, должна падать подобно маятнику книзу и при небольшомъ участіи со стороны мускуловъ, будетъ подвигаться впередъ. Съ выдвиганіемъ правой ноги подается на нее все тѣло, а лѣвая нога остается назади и при продолженіи ходьбы повторяетъ тоже, что сказано нами о правой ногѣ. Эти качанія ногъ, основанныя на законахъ движенія маятника, значительно содѣйствуютъ напряженію мускуловъ.

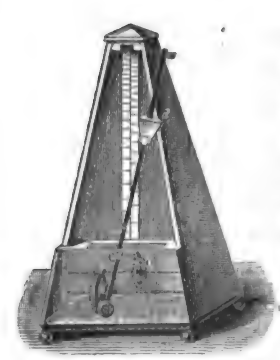
Если стоять одною ногою на возвышеніи и предоставить другой ногѣ качаться взадъ и впередъ вслѣдствіе своей тяжести, употребляя при этомъ небольшое усиліе для воспрепятствованія совершенному прекращенію этихъ колебаній, то колебанія ноги дадутъ продолжительность времени, опредѣляющую скорость нашего хода. При скорой ходьбѣ, выдвигающаяся нога опускается на землю, послѣ совершенія точкою своего прикрѣпленія половины поднимающагося качанія; вслѣдъ за тѣмъ, покоившаяся нога производитъ точно такое же качаніе. Поэтому мы дѣлаемъ два шага въ то самое время, въ которое нога, качающаяся какъ маятникъ, совершаетъ полное колебаніе. При медленной ходьбѣ, мы покоимся большее время на той ногѣ, которая опирается на землю и поэтому нога движущаяся совершаетъ болѣе половины колебанія.

2) На законахъ качанія физическаго маятника основано устройство *метро-*



Фиг. 395.

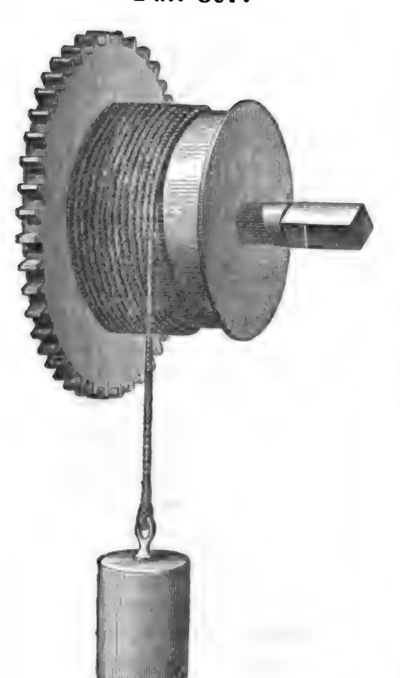
Фиг. 396.



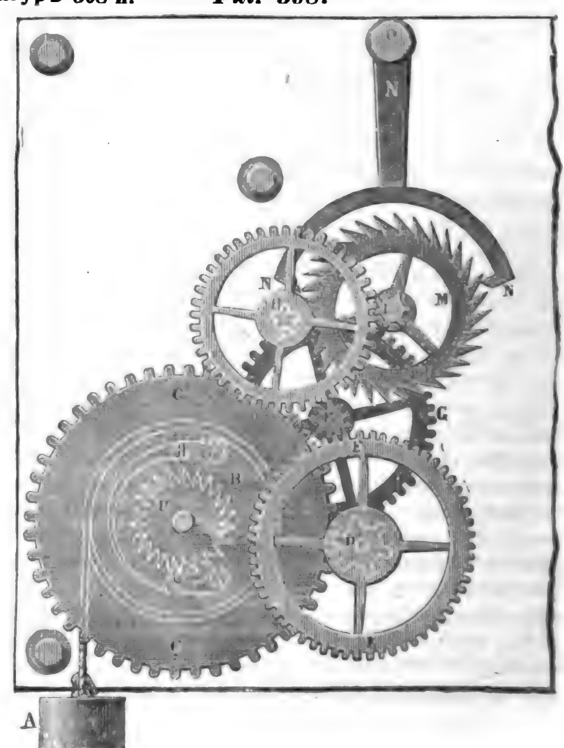
нома или *тактомѣра* (фиг. 395), употребляемаго въ музыкѣ для точнаго и нагляднаго опредѣленія *тактовъ* или промежутковъ между двумя какими нибудь постоянными частицами времени. При устройствѣ этого прибора вся задача заключается въ томъ, чтобы имѣть возможность по произволу замедлять и ускорять качанія маятника, опредѣляющія такты. Если надъ осью вращенія (*c*) маятника укрѣпить подвижную гирю, то она будетъ замедлять движеніе, производимое массою *c*, потому что въ настоящемъ случаѣ тяжесть дѣйствующая на эту массу, кромѣ приведенія ея въ движеніе, должна приводить въ движеніе и массу *b*, лежащую надъ осью вращенія. Это замедленіе будетъ очевидно тѣмъ значительнѣе, чѣмъ большую дугу должна описывать гиря *b*, отъ того, что сопротивленіе ея должно быть побѣждаемо тяжестію во все время движенія прута. Большая же или меньшая величина дуги зависитъ отъ большаго или меньшаго удаленія гири отъ оси вращенія. Слѣдовательно, передвигая гирю по дѣленіямъ, мы будемъ въ состояніи по произволу замедлять и ускорять качанія прута. Фигура 396-я представляетъ тактомѣръ въ томъ видѣ, какъ его обыкновенно употребляютъ на практикѣ.

3) Но болѣе важное примѣненіе маятника встрѣчаемъ мы въ приборахъ, употребляемыхъ для измѣренія времени и извѣстныхъ подъ названіемъ *стѣнныхъ часовъ*. Примѣненіе это было сдѣлано впервые *Гюйгенсомъ*. Система колесъ, управляющая движеніемъ минутной и часовой стрѣлокъ, приводится сама въ движеніе посредствомъ небольшаго вала (фиг. 397), на который намотана цѣпь. Побуждаемая тяжестію гиря, опускается книзу и приводитъ при этомъ валъ во вращеніе по направленію своего движенія. Соединеніе вала съ колесами представлено на фигурѣ 398-й.

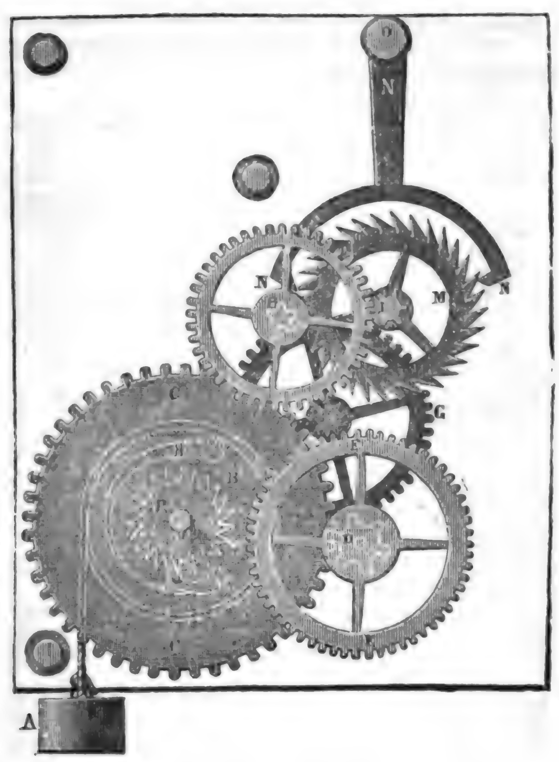
Фиг. 397.



Фиг. 398.



Гиря *A*, какъ мы уже сказали, при *паденіи* своемъ обращаетъ валъ, приводящій въ движеніе соединенное съ нимъ колесо *C* вмѣстѣ съ остальною системою колесъ. Вслѣдствіе паденія гири цѣпь, приводящая въ движеніе валъ, опускается книзу и чтобы снова намотать ее на валъ, обращаютъ послѣдній въ противоположную сторону посредствомъ ключа. При этомъ движеніи прекратился бы ходъ часовъ, если бы для воспрепятствованія обратному вращенію системы колесъ не было особеннаго механизма, заключающагося въ слѣдующемъ: главное колесо *C* и валъ *B*, хотя и имѣютъ по положенію своему

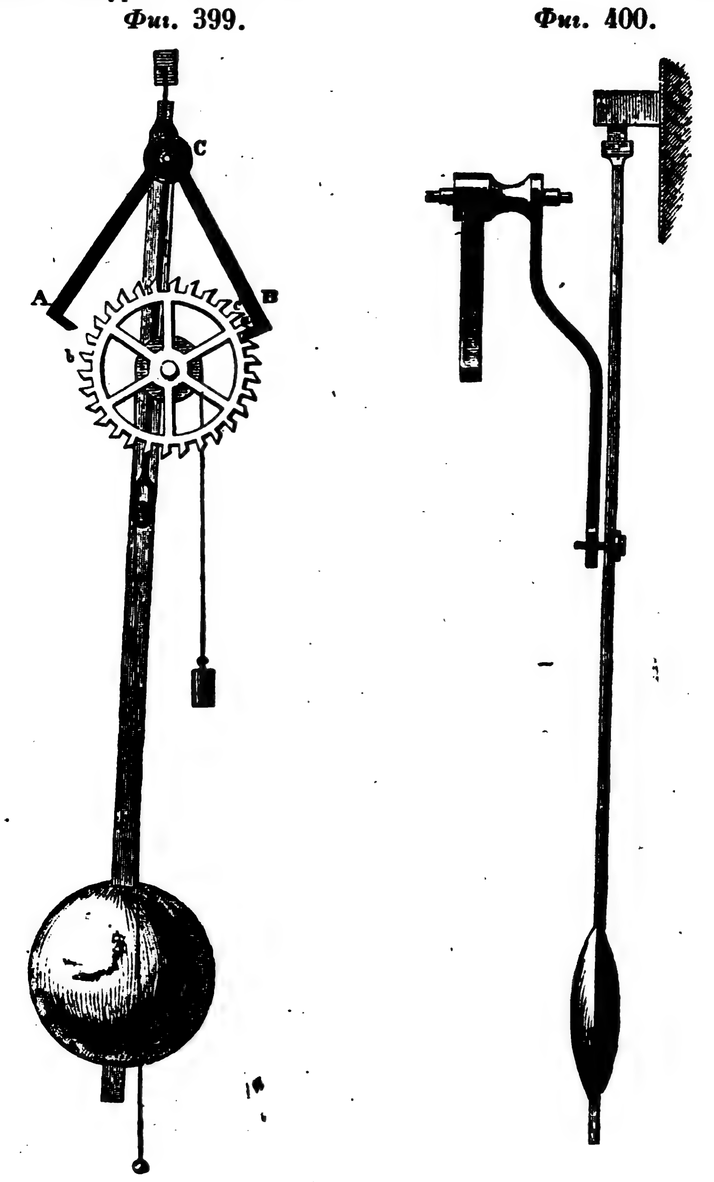


одну общую ось, но могутъ двигаться независимо другъ отъ друга. Поэтому колесо *C* можетъ не принимать участія при обратномъ вращеніи вала, заводимаго ключемъ. Но чтобы при развертываніи цѣпи, обвивающей валъ, происходило также движеніе колеса *C*, соединеннаго съ остальною системою колесъ, придѣлываютъ къ валу зубчатое колесо *P*, а къ колесу *C* зубецъ *Q*, который посредствомъ пружины *R*, насаженной на колесо *C*, входитъ въ углубленіе, образуемое зубцами колеса *P*. Съ помощію этого устройства колесо *C* находится въ постоянномъ движеніи, за выключеніемъ того времени, въ продолженіи котораго ключъ поворачиваетъ валъ въ обратную сторону, для наверчиванія на него цѣпи. Зубцы колеса *C* захватываютъ за соотвѣтственныя углубленія шестерни *D*, чрезъ что происходитъ вращеніе колеса *E*, на оси котораго находится шестерня. Зубцы же колеса *E* задѣваютъ за шестерню *F* и приводятъ въ вращеніе прикасающееся къ ней колесо, которое въ свою очередь, посредствомъ шестерни *H*, передаетъ это движеніе соотвѣтственному колесу *G*; послѣднее, сообщающееся съ шестернею *L*, вращаетъ колесо *M*, снабженное удлиненными зубцами. Примѣняя къ этой системѣ колесъ разсмотрѣнные нами въ механической статьѣ законы движенія зубчатыхъ колесъ, мы увидимъ, что всѣ колеса, составляющія механизмъ часовъ, должны двигаться съ различною скоростію и что наибольшею скоростію должно обладать колесо *M*. Эта неравномѣрность движенія колесъ, уравновѣшивается нѣ-

сколько треніемъ, происходящимъ между взаимно прикасающимися зубцами. Но треніе никогда не можетъ быть такъ распредѣлено, чтобы посредствомъ его возможно было достигнуть равномѣрности въ движеніи зубчатыхъ колесъ. Сверхъ того, самое опусканіе гири *A*, при всей медленности его, совершается по законамъ равноускореннаго движенія, а слѣдовательно неравномѣрно. Эта неравномѣрность движенія гири передается движенію всего механизма. Поэтому для доставленія послѣднему равномѣрнаго хода, должно придать къ системѣ зубчатыхъ колесъ регуляторъ.

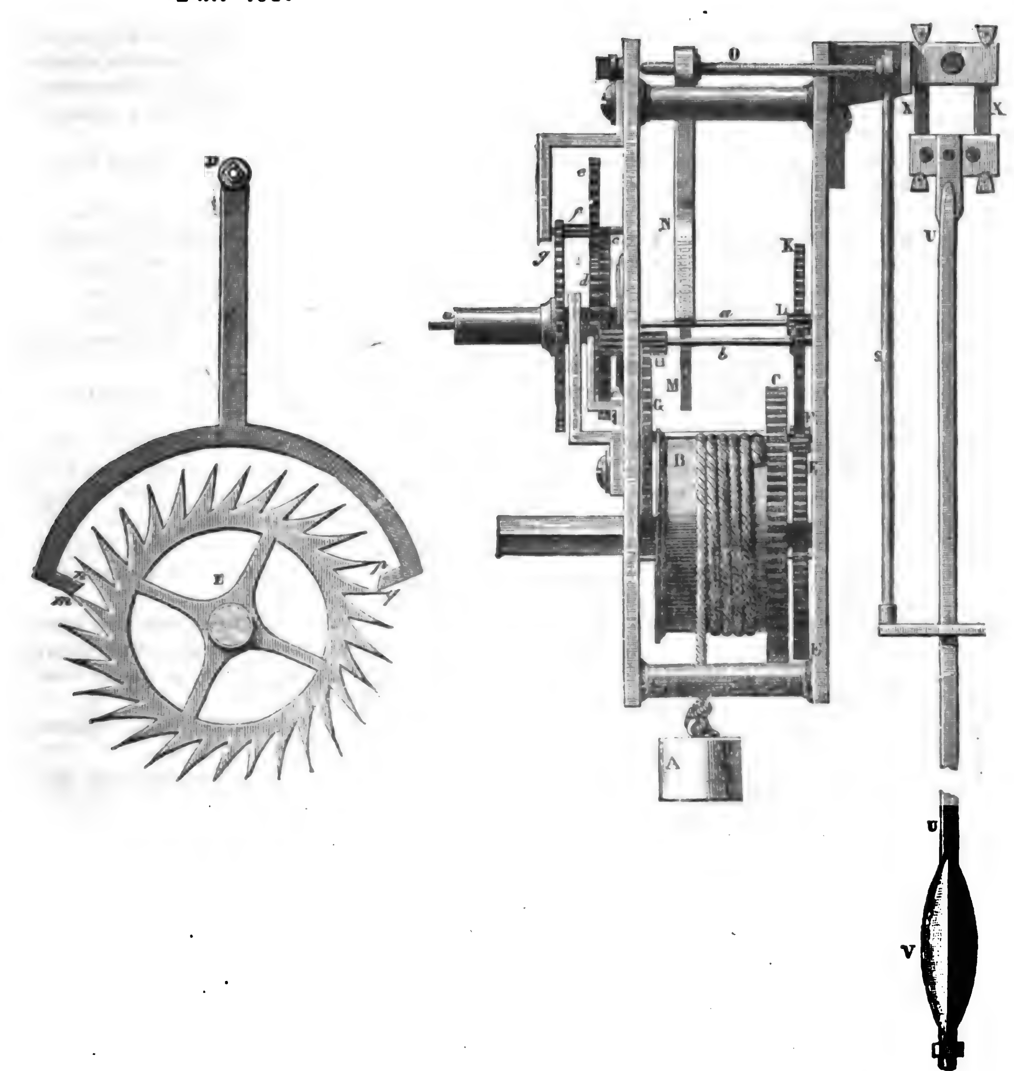
Регуляторомъ этимъ служитъ маятникъ, который соединяется съ системою зубчатыхъ колесъ посредствомъ такъ называемаго *якорнаго спуска* (*échapement à ancre*), задѣвающаго за зубцы колеса *M*. Соединеніе маятника со спускомъ видно изъ фигуръ 399-й и 400-й.

Фиг. 399. Фиг. 400.



Треніе между колесами разсчитано относительно гири такимъ образомъ, чтобы движеніе ихъ совершалось нѣсколько скорѣе противу того, какъ требуетъ ходъ часовъ. Но эта скорость движенія пріостанавливается и уравниваетcя маятникомъ, якорь котораго захватываетъ за зубцы прикасающагося къ нему колеса *E* (фиг. 401).

Фиг. 401. Фиг. 402.



Во время качанія якоря взадъ и впередъ, зубцы колеса *E* задѣваютъ при одномъ колебаніи за нижнюю часть *m* лѣваго зубца, а при слѣдующемъ за верхнюю часть *p* праваго зубца. Чрезъ это при каждомъ качаніи маятника происходитъ мгновенное пріостанавливаніе въ движеніи сообщающагося съ нимъ колеса. Понятно, что во время полнаго оборота колеса, всѣ зубцы его перебываютъ въ сообщеніи съ обоими зубцами якоря; слѣдовательно, когда маятникъ сдѣлаетъ въ два раза большее число колебаній противу числа зубцовъ колеса.

Изъ этого видно, что отъ прибавленія маятника къ часовому механизму время обращенія составляющихъ его колесъ можетъ быть опредѣлено съ точностію, при чемъ самый маятникъ получаетъ постоянно толчки, которые поддерживаютъ движеніе его.

Поэтому продолжительность качанія маятника, а слѣдовательно и необходимая длина его, опредѣляется по числу зубцовъ прикасающагося къ нему колеса, такимъ образомъ, чтобы продолжительность каждаго качанія маятника равнялась одной секундѣ. Какъ это условіе не можетъ быть достигнуто въ точности посредствомъ одного разсчитыванія, то придаютъ маятнику такое устройство, которое бы позволяло по произволу увеличивать и уменьшать длину его: для этого тяжесть, находящаяся на оконечности маятника, дѣлается подвижною.

Фигура 402-я показываетъ намъ, въ боковомъ разрѣзѣ, внутренній механизмъ часовъ.

Маятникъ *U*, котораго тяжесть *V* можетъ быть устанавливаема посредствомъ винтовъ, виситъ на подпоркахъ *XX*. Прутъ маятника захватывается вилкою, которая съ помощію стержня *S* передаетъ движенія его оси *O* и соединенному съ нею якорю *N*, захватывающему за зубцы колеса *M*. Если продолжительность качанія маятника равна одной секундѣ, то колесо *M* должно имѣть 30 зубцовъ, для того, чтобы оно могло сдѣлать полный оборотъ въ теченіи 60 качаній маятника, совершающихся въ минуту.

Ось *a* этого колеса снабжается стрѣлкой, которая показываетъ секунды на циферблатѣ часовъ.

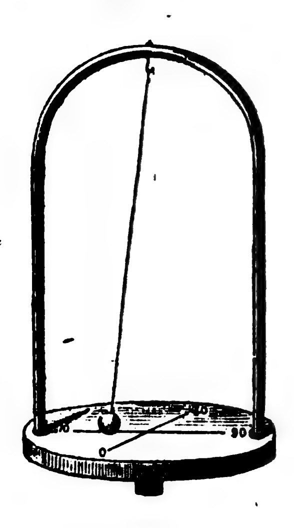
На той же самой оси насаженъ пустый внутри цилиндръ, внутреннія стѣнки котораго могутъ скользить безъ большаго затрудненія по поверхности прикасающейся къ нимъ оси. Къ этому цилиндру, съ наружной стороны циферблата, прикрѣплена минутная стрѣлка, а со внутренней — колеса *c* и *d*. Движеніе, соотвѣтствующее минутной стрѣлкѣ, цилиндръ получаетъ отъ шестерни *H*, одна часть которой находится во внутреннемъ ящикѣ, заключающемъ валъ *B*, а другая захватываетъ зубцы колеса *C*.

Другое колесо *d* доставляетъ движеніе колесу *e* и прикасающейся къ нему шестернѣ *f*, которая вращаетъ колесо *g*. Колесо это, соединенное со вторымъ пустымъ внутри цилиндромъ, приводитъ въ движеніе насаженную на него часовую стрѣлку.

4) Движеніе маятника представляетъ намъ одинъ изъ очевидныхъ примѣровъ *инерціи*.

Мы можемъ доказать это посредствомъ прибора, представленнаго на фиг. 403.

Фиг. 403.



Онъ состоитъ изъ утвержденной на горизонтальной доскѣ металлической дуги, къ срединѣ которой привѣшена нитка, снабженная на концѣ небольшимъ свинцовымъ шарикомъ. Приборъ этотъ обыкновенно утверждаютъ на вращающейся оси центробѣжной машины, такимъ образомъ, чтобы ось эта совпадала съ отвѣснымъ положеніемъ маятника, находящагося въ равновѣсіи.

Если вывести маятникъ изъ состоянія равновѣсія и дать ему толчекъ по направленію, означенному линіею, проходящей чрезъ 0 и 180°, то плоскость его качаній будетъ находиться *по направленію этой линіи* во все продолженіе совершаемаго имъ движенія.

Если вращать медленно кругъ на вартикальной оси, то плоскость качаній маятника останется также неизмѣнною, какъ и при состояніи покоя. Мы увидимъ, что по совершеніи кругомъ четверти оборота, діаметръ его, соотвѣтствующій 90° и 270°, расположится на томъ мѣстѣ, гдѣ

прежде находился діаметръ, лежавшій противу 0° и 180°; слѣдовательно по совершеніи четверти оборота маятникъ будетъ качаться въ плоскости металлической дуги, къ которой онъ привѣшенъ. Поэтому плоскость качаній маятника будетъ казаться намъ повернутою на 90° *относительно круга*, совершившаго въ дѣйствительности вращеніе на центробѣжной машинѣ, вмѣстѣ съ утвержденною къ нему дугою.

Если вращеніе круга будетъ совершаться по тому же направленію, то дуги отъ 90 — 180 и отъ 180 — 270, будутъ проходить постепенно мимо плоскости качанія. При этомъ намъ будетъ постоянно казаться, что плоскость качаній маятника вращается относительно круга въ противоположную сторону, такъ напр. если кругъ движется справа на лѣво, то намъ будетъ казаться, что плоскость качаній вращается слѣва на право.

Это показываетъ намъ, что маятникъ, производящій колебанія въ опредѣленной плоскости, сохраняетъ по инерціи плоскость своихъ качаній до тѣхъ поръ, пока посторонняя сила не выведетъ его изъ этого положенія. Тоже самое свойство будетъ намъ представлять относительно земной поверхности, плоскость качаній маятника, повѣшеннаго на полюсѣ по направленію земной оси. Положимъ, что маятникъ приведенъ въ движеніе въ плоскости земнаго меридіана, проходящаго чрезъ 0° и 180°. На основаніи доказаннаго нами неизмѣннаго сохраненія плоскости качаній онъ будетъ двигаться постоянно въ одной плоскости, не взирая на то, что плоскость меридіана (0°— 180°) сама будетъ измѣнять свое положеніе, вращаясь вокругъ земной оси, продолженіе которой, какъ мы уже сказали, соотвѣтствуетъ состоянію равновѣсія маятника. При постоянномъ вращеніи земли всѣ меридіаны будутъ постепенно проходить чрезъ плоскость качаній маятника; между тѣмъ какъ относительно земной поверхности будетъ казаться, что вращается плоскость качаній маятника и притомъ по направленію отъ востока на западъ, потому что земля вращается въ противоположную сторону.

Маятникъ, повѣшенный въ какомъ либо мѣстѣ экватора, не будетъ уже обнаруживать подобнаго кажущагося вращенія плоскости своихъ качаній. Если на экваторѣ привесть маятникъ въ движеніе по направленію плоскости меридіана, то плоскость качаній будетъ двигаться вмѣстѣ съ меридіаномъ вокругъ земной оси. Поэтому, если бы въ описанномъ приборѣ мы провели линію совпадающую съ меридіаномъ и доставили маятнику толчекъ по направленію этой линіи, то плоскость качанія будетъ проходить по направленію этой линіи.

Въ промежуточныхъ же мѣстахъ между полюсомъ и экваторомъ плоскость качанія маятника, вслѣдствіе вращенія земли на оси будетъ обнаруживать это вращеніе въ сѣверномъ полушаріи по направленію на Востокъ, Югъ, Западъ и т. д., а на южномъ по направленію на Востокъ, Сѣверъ, Западъ и т. д. Величина этого вращенія, для одного и того же времени будетъ тѣмъ значительнѣе, чѣмъ ближе мы будемъ подходить къ одному изъ полюсовъ. На полюсѣ движущееся вращеніе плоскости качанія маятника должно равняться 15° въ часъ.

Посредствомъ вычисленія можно опредѣлить, что для каждаго мѣста, котораго широта b извѣстна, кажущееся вращеніе будетъ равно $15 . Sin b^{0}$.

Одинъ изъ современныхъ французскихъ ученыхъ Фуко первый напалъ на счастливую мысль, что подобное вращеніе плоскости качаній маятника должно быть необходимымъ слѣдствіемъ вращенія земли на оси и что маятникъ, совершающій качанія въ продолженіи извѣстнаго времени, представляетъ намъ прямое доказательство вращенія земли на своей оси. Опыты, произведенные какъ самимъ Фуко, такъ и другими учеными, вполнѣ подтверждали его предположеніе.

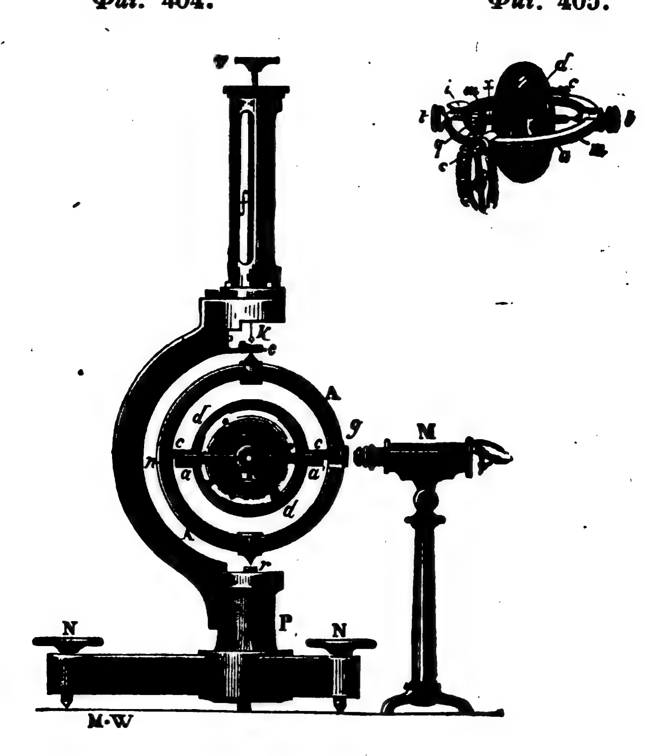
Основываясь на сохраненіи плоскости качаній маятника, Фуко устроилъ въ недавнее время приборъ *гироскопъ*, доказывающій еще очевиднѣе маятника суточное вращеніе земли. Для перехода отъ неизмѣнной плоскости качаній



маятника къ плоскости вращенія тѣла надлежало продолжить дугу описываемую маятникомъ до образованія круга и по направленію послѣдняго взять вращающееся тѣло.

Тѣло это, какъ показываютъ фиг. 404 и 405, состоитъ изъ массивнаго бронзоваго кольца *d*, свободно вращающагося вокругъ горизонтальной оси, проходящей чрезъ центръ кольца и перпендикулярной къ плоскости большаго круга его. Ось эта служитъ горизонтальнымъ діаметромъ поддерживающему ее цилиндрическому кругу, который для бо́льшей ясности представленъ особо на фиг. 404. На этой оси устроена шестерня *q* (фиг. 405), приводимая въ дви-

Фиг. 404. *Фиг.* 405.



женіе системою зубчатыхъ колесъ, устроенныхъ на особомъ станкѣ, который непредставленъ на чертежѣ. На наружной оконечности горизонтальнаго круга *aa*, по направленію діаметра перпендикулярнаго къ оси тѣла *dd*, придѣланы два выступа *c* и *c*, посредствомъ которыхъ какъ тѣло *dd*, такъ и обхватывающій его горизонтальной кругъ, утверждены въ вертикальномъ наружномъ кругѣ *AA*. Послѣдній кругъ виситъ на нити, перпендикулярной къ линіи *cc*, и съ помощію особеннаго механизма, постоянно сохраняетъ отвѣсное положеніе.

Вслѣдствіе такого расположенія осей, понятно, что ось *tt* массивнаго тѣла можетъ принимать различныя направленія въ пространствѣ, потому что при каждомъ положеніи ея будетъ поддержанъ центръ тяжести вращающагося тѣла.

Таковы главнѣйшія основанія прибора, посредствомъ котораго обнаруживаются слѣдующія явленія:

Равновѣсіе различныхъ частей этого прибора устроено такимъ образомъ, что во время сохраненія имъ спокойнаго состоянія, незначительное дуновеніе или треніе достаточны для нарушенія положенія частей его, которыя въ это время участвуютъ въ общемъ движеніи земли вокругъ ея оси. Приведемъ те-

перь во вращеніе массивное тѣло *dd*. Для этого отдѣляютъ его отъ вертикальнаго круга *AA* и ставятъ на станокъ съ зубчатыми колесами, такъ чтобы шестерня *q* (фиг. 405) задѣвала верхнее колесо зубчатой системы, посредствомъ которой доставляется быстрое вращеніе тѣлу *dd*. При опытахъ своихъ Фуко доставлялъ ему до 150 оборотовъ въ секунду. Приведя такимъ образомъ во вращеніе тѣло *dd*, вносятъ его снова въ общій приборъ, гдѣ оно продолжаетъ производить сообщенное ему вращеніе. Вслѣдствіе инерціи, постоянно увеличивающейся при вращеніи, тѣло *dd* будетъ удерживать ту плоскость, по направленію которой привели его въ движеніе. Горизонтальный кругъ, поддерживающій тѣло *dd* и слѣдовательно связанный съ нимъ, выводится съ большимъ усиліемъ изъ своего равновѣсія. Наружный же кругъ не производитъ никакого движенія, потому что для перемѣщенія своего относительно вертикальной оси привѣса, онъ долженъ увлечь плоскость вращающагося тѣла, которое стремится сохранять неизмѣнное положеніе по инерціи. Такимъ образомъ приборъ, обладавшій въ состояніи покоя способностію къ восприятію движенія, пріобрѣлъ устойчивость во время вращенія массивнаго тѣла и эта устойчивость есть ни что иное, какъ слѣдствіе инерціи, увеличивающейся съ постепеннымъ ускореніемъ вращенія. Если при вращеніи круга обращать основаніе прибора вокругъ вертикальной линіи, проходящей чрезъ отвѣсную нить, на которой повѣшенъ наружный кругъ *AA* (фиг. 404), то послѣдній останется также въ покоѣ.

Очевидно, что тоже самое вліяніе должна оказывать на приборъ и земля при суточномъ вращеніи своемъ отъ запада къ востоку: она поворачиваетъ основаніе, на которомъ покоится приборъ и наблюдателя вокругъ отвѣсной линіи, на величину равную угловому движенію земли во время наблюденія, помноженному на синусъ широты наблюдаемаго мѣста. Она увлечетъ при этомъ движеніи центръ тяжести тѣла *AA*, нисколько неизмѣняя направленія, сохраняемаго осью при вращеніи его. Неизмѣнность положенія этой оси даетъ намъ самое очевидное подтвержденіе вращенія земли по направленію отъ запада къ востоку и въ самомъ дѣлѣ, приблизивъ зрительную трубку *M* къ ребру вертикальнаго круга *AA*, къ наружной части котораго придѣлана пластинка *g* съ мелкими отвѣсными дѣленіями, мы увидимъ, что послѣднія будутъ послѣдовательно проходить чрезъ среднюю нить трубы отъ востока къ западу или отъ запада къ востоку, если мы возмемъ трубу, дающую обратныя положенія предметовъ. А этого кажущагося движенія въ противную сторону вращенія земли и должно было ожидать, потому что во время опыта ось вращенія тѣла *dd*, а слѣдовательно и кругъ *AA*, оставались въ неизмѣнномъ положеніи, между тѣмъ какъ наблюдатель и труба подвинулись вмѣстѣ съ землею, на которой они стоятъ, отъ запада къ востоку.

Но кромѣ того приборъ даетъ результаты, происходящіе отъ совокупнаго движенія земли съ движеніемъ прибора. Для этого приводятъ массивное тѣло *dd* во вращеніе; по доставленіи оси его горизонтальности, прикрѣпляютъ обхватывающій его кругъ ко внутренности наружнаго круга *AA*. Послѣ того устанавливаютъ кругъ въ какомъ нибудь положеніи, напр. въ плоскости перваго вертикала, которая должна поэтому заключать и ось вращающагося тѣла *dd*, и предоставляютъ весь приборъ самому себѣ. Тогда увидимъ, что большой кругъ оставитъ плоскость перваго вертикала и направившись къ плоскости перваго меридіана, остановится въ ней послѣ извѣстнаго числа колебаній. Какое бы не было направленіе, сообщаемое въ началѣ вращенію тѣла *dd*, большой кругъ постоянно приходитъ въ плоскость меридіана.

Самое направленіе земной оси можетъ быть указываемо приборомъ. Для этого устанавливаютъ тѣло *dd*, вращающееся на горизонтальной оси, въ плоскости меридіана; обхватывающій же его кругъ приводятъ въ такое положеніе, чтобы ось вращенія тѣла двигалась въ плоскости, лежащей неподвижно надъ поверхностію земли. Мы увидимъ тогда, что ось вращенія тѣла *dd* увлечетъ за собою обхватывающій его кругъ и установится въ направленіи параллельномъ къ земной оси.

Такимъ образомъ съ помощію гироскопа Фуко, мы можемъ опредѣлять: 1) какъ направленіе, такъ и количество суточнаго вращенія земли; 2) положеніе плоскости меридіана; 3) направленіе земной оси. Эти результаты, полученные изъ прибора Фуко, дѣлаютъ его весьма полезнымъ для употребленія на морѣ, потому что посредствомъ его, безъ помощи астрономическихъ наблюденій, можно во всякое время дня и ночи находить широту мѣста. Съ помощію этого прибора можно доказать законъ сохраненія площади вращенія, служащій основаніемъ всѣмъ тремъ упомянутымъ выше опредѣленіямъ. — Послѣдній законъ, какъ необходимое слѣдствіе свойства инерціи, представляется самымъ очевиднымъ образомъ на приборѣ Фуко. И въ самомъ дѣлѣ, если, приведя массивное тѣло во вращеніе, мы посредствомъ системы зубчатыхъ колесъ дадимъ прибору такое положеніе, при которомъ центръ тяжести его будетъ внѣ отвѣсной линіи, опредѣляемой нитію f, то площадь вращенія сохраняетъ свое положеніе съ такою силою, что не взирая на довольно значительный вѣсъ прибора и на уклоненіе массы его отъ направленія нити f, всѣ части прибора остаются въ неизмѣнномъ положеніи. Видя этотъ опытъ, нельзя не убѣдиться въ существованіи свойства инерціи и въ справедливости вывода изъ послѣдняго свойства различныхъ явленій, какъ-то: ударовъ, получаемыхъ при выскакиваніи изъ быстро движущагося экипажа и др. т. п.

Посредствомъ маятника мы убѣждаемся въ существованіи притяженія между массами тѣлъ. И въ самомъ дѣлѣ, какъ мы видѣли изъ опыта Мэсклейна (Maskelyne), маятникъ вблизи высокихъ горъ уклоняется отъ вертикальнаго положенія, что очевидно можетъ произойти только вслѣдствіе притяженія, оказываемаго массою горы на массу, составляющую тяжелый пунктъ маятника

Перейдемъ теперь къ примѣненію маятника къ *опредѣленію законовъ тяжести*.

При изслѣдованіи качаній маятника мы показали, что длина секунднаго маятника, совершающаго 60 качаній въ минуту, помноженная на постоянное число 9,8696, можетъ служить намъ лучшимъ средствомъ для опредѣленія напряженія тяжести.

Кромѣ того, при опредѣленіи законовъ дѣйствія тяжести, маятникъ представляетъ намъ слѣдующія услуги:

1) Маятникъ, находящійся въ состояніи равновѣсія, указываетъ намъ направленіе дѣйствія тяжести. Самый отвѣсъ есть ничто иное, какъ маятникъ въ состояніи равновѣсія.

2) Если взять равной длины маятники, шарики которыхъ состоятъ изъ различныхъ тѣлъ, напр. изъ металла, воску или дерева, то найдемъ, что всѣ они будутъ имѣть одинаковую продолжительность качаній. Значитъ, продолжительность качаній не зависитъ ни отъ вѣса, ни отъ вещества шариковъ. А какъ продолжительность качаній находится въ прямой зависимости отъ дѣйствія тяжести, то очевидно, что тяжесть дѣйствуетъ съ одинаковою силою на всѣ тѣла, независимо отъ вѣса и состава ихъ.

Для лучшаго понятія выведеннаго нами заключенія, стоитъ только припомнить сказанное нами выше, объ образѣ дѣйствія тяжести. Если тяжесть производитъ качанія маятника, то она дѣйствуетъ на каждый атомъ матеріи, составляющей шарикъ; каждый атомъ послѣдняго побуждается къ движенію собственною тяжестію своею и слѣдовательно прибавленіе числа атомовъ не должно оказывать вліянія

на скорость качанія. Если бы можно было повѣсить на ниткѣ, неимѣющей вѣса, одинъ атомъ желѣза, то онъ долженъ качаться такъ же скоро, какъ и въ томъ случаѣ, когда бы къ ниткѣ было привѣшено два, три, четыре атома, или наконецъ весь желѣзный шарикъ. Нѣтъ никакого основанія допустить, чтобы тяжесть дѣйствовала на восковой атомъ иначе, нежели на желѣзный. Въ справедливости этого убѣждаютъ насъ и опыты надъ качаніемъ различныхъ шариковъ. Опыты эти доказываютъ намъ равное дѣйствіе тяжести на всѣ тѣла, гораздо лучше противу паденія тѣлъ въ безвоздушномъ пространствѣ, потому что въ послѣднемъ случаѣ мы можемъ наблюдать дѣйствіе тяжести только въ продолженіи чрезвычайно малаго времени, тогда какъ въ первомъ случаѣ наблюденіе можетъ происходить въ теченіи цѣлыхъ часовъ.

3) Если мы будемъ сравнивать между собою качанія одного и того же маятника при небольшихъ дугахъ, то увидимъ, что продолжительность качаній его, во всякое время, для одного и того же мѣста земли, будетъ одинакова. Мы уже показали выше, что напряженіе тяжести или скорость, пріобрѣтаемая тѣломъ при свободномъ паденіи въ единицу времени, можетъ быть опредѣлена умноженіемъ длины секунднаго маятника на число 9,8696; значитъ, напряженіе тяжести для одного и того же мѣста, остается всегда постояннымъ.

4) Если бы секундный маятникъ, совершающій при извѣстной длинѣ 60 качаній въ минуту, на извѣстномъ мѣстѣ земли, удовлетворялъ бы этому условію и на остальныхъ точкахъ земной поверхности, то мы имѣли бы право заключить, что и напряженіе дѣйствія тяжести (g) одинаково повсюду. Но опытъ убѣждаетъ насъ въ противномъ. Изслѣдованія надъ качаніями маятника показали: *a*) что маятникъ на вершинѣ горы качается медленнѣе, чѣмъ у подошвы ея; *b*) что по мѣрѣ приближенія отъ экватора къ полюсамъ качанія одного и того же маятника пріобрѣтаютъ постепенно бо̀льшую скорость. Такъ напр. маятникъ, бьющій въ Парижѣ секунды, дѣлаетъ въ сутки 126-ю колебаніями менѣе подъ экваторомъ. Явленіе это было замѣчено впервые французскимъ астрономомъ Рише еще въ 1672 году, во время путешествія его въ Кайэну. Онъ нашелъ, что въ послѣднемъ пунктѣ, лежащемъ на 5^0 къ сѣверу отъ экватора, секундный маятникъ, хорошо регулированный въ Парижѣ, ежедневно отставалъ на двѣ минуты слишкомъ, такъ что должно было уменьшить длину маятника на $^5/_4$ линіи для того, чтобы онъ снова отбивалъ точно секунды. Тѣже часы, привезенные обратно въ Парижъ, уходили впередъ и для поправки хода ихъ должно было дать маятнику снова прежнюю его длину. Это показало, что дѣйствіе тяжести подъ экваторомъ слабѣе, нежели въ мѣстахъ ближайшихъ къ полюсу и что вмѣстѣ съ тѣмъ, маятникъ можетъ служить для измѣренія этого различнаго распредѣленія силы тяжести на земной поверхности. Для опредѣленія этихъ различій, ученые старались опредѣлить съ точностію длину секунднаго маятника для разныхъ мѣстъ земли. Но не взирая на многочисленность произведенныхъ

опытовъ, только въ настоящемъ столѣтіи удалось ученымъ достигнуть до точныхъ результатовъ при опредѣленіи длины секунднаго маятника, чему не мало помогли съ одной стороны техническія улучшенія въ самомъ устройствѣ маятника, а съ другой — развитіе высшей математики, которое позволило принимать при вычисленіяхъ во вниманіе и обстоятельства, служащія препятствіями для произведенія точныхъ наблюденій. Измѣренія англійскихъ ученыхъ Катера и Сэбина (Sabine), французскихъ астрономовъ Араго и Біо и нѣмецкаго астронома Бесселя, при опредѣленіи длины секунднаго маятника, были произведены съ такою точностію, которая не уступаетъ самымъ лучшимъ астрономическимъ измѣреніямъ. Изъ этихъ измѣреній получены слѣдующіе результаты:

Длина секунднаго маятника равна:

подъ экваторомъ при поверхности моря . . . 0,98245 метра,
подъ географическою широтою $= 48^{0}50'14''$,
на парижской обсерваторіи . . . . . . 0,99385 метра,
подъ географическою широтою $= 51^{0}31'8''$,
на лондонской обсерваторіи . . . . . . 0,99412 метра,
подъ географическою широтою $= 54^{0}42'50''$,
при поверхности моря у Кенигсберга. . 0,99441 метра.

Вычисленное по этимъ даннымъ ускореніе g изъ уравненія $g = 9{,}8696 . l$, дало слѣдующіе результаты:

подъ экваторомъ $g = 9{,}8696 . 0{,}98245$ метра $= 32{,}3212$ баден. фута,
въ Парижѣ . . $g = 9{,}8696 . 0{,}99385$ » $= 32{,}6965$ »
въ Лондонѣ . . $g = 9{,}8696 . 0{,}99412$ » $= 32{,}7147$ »
въ Кенигсбергѣ $g = 9{,}8696 . 0{,}99441$ » $= 32{,}7039$ »

Пространство, проходимое свободно падающимъ тѣломъ въ первую секунду, равно, какъ мы уже знаемъ, половинѣ скорости (g), пріобрѣтенной въ первую секунду; поэтому, чтобы получить въ числахъ пространства, проходимыя свободно падающими тѣлами въ первую секунду времени, для приведенныхъ выше мѣстъ, стоитъ только раздѣлить пополамъ числа, выведенныя для g. Изъ этихъ чиселъ видно, что пространство это имѣетъ наименьшую величину подъ экваторомъ и что разность между пространствами, проходимыми тѣлами подъ экваторомъ и подъ широтою Кенигсберга, составляетъ около $^{1}/_{5}$ фута. Здѣсь приведены результаты измѣреній для немногихъ мѣстъ земной поверхности. Вообще же точныя наблюденія надъ маятникомъ были произведены для двадцати, или около того, пунктовъ и слѣдовательно для такого числа мѣстъ извѣстны истинныя величины ускореній при свободномъ паденіи тѣлъ, а слѣдовательно и величины разности этихъ ускореній.

Основываясь на постоянности длины секунднаго маятника на каждомъ мѣстѣ земли, было предложеніе принять эту мѣру за единицу длины; но предложеніе это не было принято, потому что для опредѣленія длины секунднаго маятника, входитъ еще одинъ посторонній элементъ — время.

§ 137. **Показавъ такимъ образомъ различное дѣйствіе тяжести на земной поверхности, намъ остается разсмотрѣть причины, производящія эти измѣненія въ напряженіи тяжести.** Обстоятельства имѣющія вліяніе на различіе дѣйствія тяжести.

Причина замедленія качаній маятника по мѣрѣ удаленія его отъ центра земли, заключается въ слѣдующемъ:

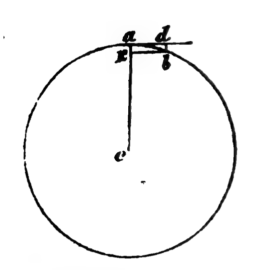
Притяженіе земли дѣйствуетъ, какъ мы уже говорили, такимъ образомъ, какъ бы вся масса земнаго шара была сосредоточена въ его центрѣ. Какъ это притяженіе, согласно закону Ньютона, дѣйствуетъ обратно пропорціонально квадратамъ разстояній, то очевидно, что притяженіе земли должно увеличиваться или уменьшаться, по мѣрѣ приближенія или удаленія тѣлъ отъ поверхности земли. Если это измѣненіе при значительности земнаго радіуса и останется незамѣтнымъ для тѣлъ, приближающихся или удаляющихся на незначительное разстояніе отъ земной поверхности, то для значительныхъ высотъ величина измѣненія бываетъ ощутительна, такъ что при точныхъ вычисленіяхъ нельзя уже ею пренебрегать.

Что же касается до другихъ причинъ измѣненія напряженія тяжести на земной поверхности, то они происходятъ отъ вращенія ея на оси и отъ самой фигуры земли.

Продолжительность полнаго обращенія земли на оси, называется звѣздными сутками: оно равно 86164 секундамъ, слѣдовательно 236-ю секундами менѣе противу такъ называемыхъ среднихъ солнечныхъ сутокъ. Всѣ точки земли, за выключеніемъ точекъ лежащихъ на оси, описываютъ въ это время круги различнаго діаметра, смотря по различію отвѣснаго удаленія вращающихся точекъ отъ земной оси. Но какъ каждая точка, вращающаяся около центра, на основаніи законовъ выведенныхъ нами въ механикѣ, пріобрѣтаетъ *центробѣжную* силу, заключающуюся собственно въ давленіи, оказываемомъ точкою по направленію противоположному отъ центра, то очевидно, что при вращеніи земли всѣ точки ея будутъ обладать центробѣжной силой. Сила эта, какъ мы видѣли въ механикѣ, увеличивается по мѣрѣ увеличенія квадрата скорости вращающагося тѣла. Скорости же точекъ экватора, очевидно значительнѣе скорости другихъ точекъ земной поверхности, потому что каждая точка экватора въ теченіи сутокъ описываетъ путь, котораго величина значительнѣе путей, описываемыхъ въ тоже время точками лежащими внѣ экватора. Слѣдовательно точки, лежащія подъ экваторомъ, будутъ обладать наибольшею центробѣжною силой противу остальныхъ точекъ земной поверхности. А какъ центробѣжная сила дѣйствуетъ по противоположному направленію съ силой притягивающей каждую частицу къ центру земли, то значитъ, что напряженіе тяжести подъ экваторомъ должно быть уменьшено на величину дѣйствующей здѣсь центробѣжной силы. Опредѣленіе величины этого уменьшенія производится слѣдующимъ образомъ. Величина экватора простирается до 40070000 метровъ. Путь этотъ проходится каждою точкою экватора въ 88164 секунды; слѣдовательно пространство пройденное въ

одну секунду равно 1550 фут. Положимъ, что кругъ представленный на фигурѣ 406-й есть экваторъ или такой кругъ, котораго окружность равна приблизительно 40070000 метрамъ. Если, начиная отъ *a*, взять дугу *ab* равною 155 фут.. то отвѣсное разстояніе (*bd*) точки *b* отъ касательной *ad*, выразитъ намъ величину, на которую бы вслѣдствіе центробѣжной силы удалилась бы въ секунду точка экватора отъ центра земли, въ томъ случаѣ, когда бы эта точка была предоставлена самой себѣ и не удерживалась бы дѣйствіемъ тяжести на земной поверхности. Понятно, что въ какомъ бы большомъ размѣрѣ мы не начертили фигуру, всегда взятые нами размѣры будутъ ничтожны сравнительно съ тѣми величинами, которыя выражаются линіями чертежа. Поэтому, посредствомъ простаго измѣренія линіи *db* на чертежѣ, мы не въ состояніи будемъ даже приблизительно дойти до точнаго результата. Намъ остается прибѣгнуть къ помощи вычисленій, которыя показываютъ намъ, что величина центробѣжной силы подъ экваторомъ равна $^1/_{289}$ части полнаго ея напряженія. Число 289 есть квадратъ 17; слѣдовательно, если бы вращеніе земли было въ 17 разъ болѣе того, какъ оно совершается въ дѣйствительности, то центробѣжная сила на экваторѣ равнялась бы напряженію тяжести. Если примѣнить величину центробѣжной силы подъ экваторомъ къ тѣлу, вѣсящему тамъ *p* фунтовъ, то получимъ, что сила эта будетъ равна $^1/_{289} \cdot p$, или что одно и тоже $^1/_{289}$ части вѣса этого тѣла.

Фиг. 406.



Самое же полученіе величины центробѣжной силы производится слѣдующимъ образомъ. Въ механикѣ (§ 65) мы показали, что *величина центростремительной силы*, въ извѣстную единицу времени, *равна квадрату пройденной дуги, раздѣленному на удвоенное разстояніе дуги отъ центра движенія*, что величина центростремительной силы для одного и того же центральнаго движенія равна центробѣжной силѣ.

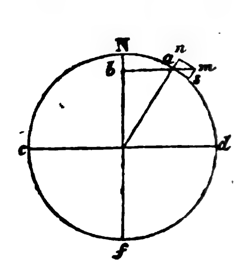
Положимъ, что тѣло, вѣсящее *p* фунтовъ, движется съ равномѣрною скоростію *v* по кругу, котораго радіусъ r, и что во время *t* оно описываетъ дугу *ab*; слѣдовательно $ab = v \cdot t$. Если время *t* весьма мало сравнительно со временемъ полнаго обращенія, то мы можемъ принять безъ чувствительной погрѣшности *ab* за прямую линію, а *bd* за линію параллельную къ *ak*. Поэтому линія *ab* выражаетъ діагональ параллелограмма *adkb*; одна сторона *ad* этого параллелограмма выражаетъ величину и направленіе движенія, которое бы приняло тѣло по инерціи, если бы не дѣйствовала на него центростремительная сила, а другая *ak* даетъ намъ самую величину центростремительной силы, притягивающей тѣло къ центру *c* въ продолженіи времени *t*. Если означимъ величину этого притяженія чрезъ *P*, то на основаніи § 41-го получимъ, что $ak = {}^1/_2 \frac{P}{p} \cdot gt^2$. На основаніи выведенной нами величины для центростремительной силы (§ 65) получимъ $ak = \frac{ab^2}{2r}$. Какъ $ab = v \cdot t$, то $ak = \frac{v^2t^2}{2r}$. Сравнивши между собою обѣ величины, полученныя для *ak*, будемъ имѣть $\frac{v^2t^2}{2r} = {}^1/_2 \frac{P}{p} \cdot gt^2$, откуда по сокращеніи общихъ величинъ и по умноженіи обоихъ членовъ на 2 получимъ

$\frac{v^2}{r} = \frac{P}{p} \cdot g$. Изъ этого уравненія величина $P = \frac{v^2 p}{r \cdot g}$. Понятно, что туже самую величину должна имѣть и центробѣжная сила. Если вмѣсто v, r и g вставить величины соотвѣтствующія имъ въ выбранномъ нами примѣрѣ вращенія земли, т. е. $v = 1550$, $r = 40070000$ и g ускореніе тѣла падающаго подъ экваторомъ $= 32{,}6$, то получимъ, что центробѣжная сила подъ экваторомъ равна $\frac{1550^2 \cdot p}{133566666.32{,}6} = \frac{1}{289} \cdot p$.

Если величина центробѣжной силы, или говоря другими словами, силы стремящейся удалять тѣло отъ центра движенія, равна подъ экваторомъ $^1/_{289}$ части опредѣленнаго тамъ вѣса тѣла, то ясно, что величина притяженія этого тѣла подъ экваторомъ, должна уменьшаться $^1/_{289}$ частью полнаго ея напряженія. Слѣдовательно, если бы не существовало центробѣжной силы, то величина полнаго напряженія тяжести z на тѣло, вѣсящее подъ экваторомъ p фунтовъ, могла быть опредѣлена изъ уравненія $z = p + {}^1/_{289} \cdot p$; откуда $p = {}^{289}/_{290}\, z$, т. е. вѣсъ всякаго тѣла подъ экваторомъ уменьшается на $^1/_{289}$ часть противу того, какимъ бы онъ былъ въ томъ случаѣ, если бы земля не производила вращательнаго движенія на оси. Поэтому тѣло вѣсящее 290 фунтовъ у полюсовъ, гдѣ центробѣжная сила равна 0, будетъ у экватора оказывать на чашки вѣсовъ давленіе равное 289 фунтамъ. Это измѣненіе въ величинѣ вѣса подъ экваторомъ не можетъ быть опредѣлено посредствомъ взвѣшиванія на обыкновенныхъ вѣсахъ, потому что и противовѣсы или гири, уравновѣшивающія тѣло подъ экваторомъ, принимаютъ участіе въ общемъ вращеніи земли, а слѣдовательно пріобрѣтаютъ также центробѣжную силу и претерпѣваютъ одинаковое уменьшеніе вѣса со сравниваемыми съ ними тѣлами. Мы можемъ показать это измѣненіе посредствомъ динамометра или точнѣе посредствомъ качаній маятника, которыхъ продолжительность зависитъ отъ величины напряженія тяжести.

Мѣста, лежащія къ сѣверу или къ югу отъ экватора, находятся въ меньшемъ удаленіи отъ земной оси противъ точекъ экватора. Поэтому при вращеніи земли всѣ эти мѣста обладаютъ меньшею скоростію, а слѣдовательно и меньшею центробѣжною силой. Если

Фиг. 407.



точка a (фиг. 407) лежитъ въ такомъ удаленіи къ сѣверу отъ экватора, что отвѣсное разстояніе ея ab отъ земной оси составляетъ половину того же разстоянія подъ экваторомъ, то и центробѣжная сила въ a, будетъ въ половину менѣе противу центробѣжной силы въ d. Но дѣйствіе тяжести въ точкѣ a не будетъ уменьшено на полную величину центробѣжной силы, потому что сила эта дѣйствуетъ въ точкѣ a по направленію отъ центра движенія къ окружности, т. е. по направленію am, между тѣмъ какъ тяжесть притягиваетъ точку a по направленію къ центру не прямо противоположному направленію центробѣжной силы, но составляющему съ нимъ извѣст-

ный уголъ. Если *am* означаетъ величину центробѣжной силы въ *a*, то отъ разложенія *am* на двѣ отвѣсныя составляющія *an* и *as* получимъ, что *an* будетъ выражать въ точкѣ *a* ту часть центробѣжной силы, которая противодѣйствуетъ и слѣдовательно уменьшаетъ напряженіе тяжести. И эта величина можетъ быть опредѣлена вычисленіемъ, которое вполнѣ согласуется съ опытомъ.

Перейдемъ теперь къ третьему обстоятельству, имѣющему вліяніе на измѣненіе напряженія тяжести на поверхности земли и заключающемуся въ самой формѣ земли. Говоря о формѣ земли, мы упомянули, что градусы одного и того же меридіана неравны между собою, какъ это должно было ожидать въ томъ случаѣ, если бы земля имѣла совершенно шарообразную форму. На самомъ дѣлѣ длина градусовъ одного и того же меридіана увеличивается по мѣрѣ приближенія отъ экватора къ полюсамъ. Обстоятельство это можетъ произойти только въ томъ случаѣ, когда поверхность земли уклоняется отъ шарообразной формы по мѣрѣ приближенія своего къ полюсамъ. Слѣдовательно земля должна быть сжата у полюсовъ; эта сплюснутость земли имѣетъ также вліяніе и на напряженіе тяжести, потому что тѣла находящіяся у полюсовъ наиболѣе приближены къ центру земли и поэтому должны притягиваться съ большею силой противу тѣлъ, лежащихъ на экваторѣ.

Но при этомъ рождается вопросъ, какая же можетъ быть причина возвышенія земной поверхности подъ экваторомъ и сжатія ея у полюсовъ.

Для разрѣшенія этого вопроса обратимся къ опыту *Плато*. Задача этого ученаго состояла вопервыхъ въ томъ, чтобы освободить отъ вліянія тяжести какую нибудь жидкую массу и потомъ наблюдать за всѣми измѣненіями ея формы, могущими произойти отъ дѣйствія постороннихъ силъ.

Какимъ образомъ Плато разрѣшилъ эту задачу на самомъ дѣлѣ, увидимъ впослѣдствіи, когда будемъ говорить о частичныхъ силахъ. Теперь же ограничимся только тѣми результатами его опытовъ, которые имѣютъ соотношеніе съ разсматриваемымъ нами предметомъ.

Проткнувъ насквозь тонкою желѣзною осью каплю оливковаго масла, погруженнаго въ смѣсь изъ воды и спирта, имѣющую одинаковую плотность съ масломъ, приводятъ во вращеніе эту ось посредствомъ небольшой рукоятки. Вращеніе оси передается пристающей къ оси каплѣ, которая постепенно измѣняетъ свою форму, съуживается у полюсовъ и вздувается у экватора, и это измѣненіе формы бываетъ значительнѣе, чѣмъ быстрѣе самое вращеніе. Видъ, принимаемый каплею, представляетъ сходство съ формою нѣкоторыхъ небесныхъ тѣлъ и поэтому мы имѣемъ право заключить, что и самыя причины измѣненія формы въ обоихъ случаяхъ должны быть одинаковы.

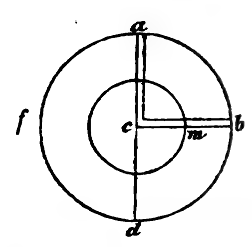
На этомъ основаніи мы можемъ допустить, что и частицы составляющія землю, были нѣкогда въ жидкомъ видѣ, что подтверждаютъ всѣ новѣйшія геологическія изслѣдованія. Отъ вращенія около оси

эта жидкая масса земли приняла видъ шара, сжатаго у полюсовъ, который видъ она и теперь имѣетъ.

Это измѣненіе формы, которое долженъ претерпѣвать шаръ величиною съ землю, вслѣдствіе вращенія на оси, при жидкомъ состояніи скопленія своихъ частицъ, можетъ быть опредѣлено вычисленіемъ.

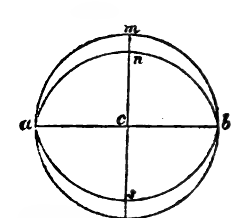
Согласіе вычисленій съ непосредственными измѣреніями величины градусовъ меридіана, можетъ служить лучшимъ подтвержденіемъ приведеннаго нами предположенія на счетъ того, что нѣкогда земля была въ жидкомъ состояніи. Положимъ, что *abdf* (фиг. 408) представляетъ землю, *ad* — земную ось, а *ac* и *cb* — два отверстія, изъ которыхъ одно идетъ отъ полюса къ центру, а другое отъ центра вправо по экватору. Положимъ, что оба эти канала наполнены однородною жидкостію. Если бы земля не вращалась на оси, то между столбами жидкости *ca* и *cb* могло бы произойти только тогда равновѣсіе, когда бы оба они имѣли равную длину, потому что только при этомъ предположеніи давленіе, производимое вслѣдствіе дѣйствія тяжести столбомъ *cb* въ *c*, равнялось бы давленію столба *ca*. При вращающемся движеніи шара со скоростію вращенія земли на оси, вслѣдствіе центробѣжной силы дѣйствіе тяжести на точку *b* будетъ уменьшено на $^1/_{290}$ часть полнаго своего напряженія. Центробѣжная сила точки *m*, лежащей посрединѣ между *c* и *b*, должна очевидно равняться половинѣ центробѣжной силы точки *b*. Съ другой стороны и притяженіе точки *m* къ центру, на основаніи объясненныхъ нами выше законовъ притяженія, должно быть въ два раза менѣе противу притяженія обнаруживаемаго на точку *b*, лежащую на поверхности шара, описаннаго въ два раза большимъ радіусомъ. Поэтому и центробѣжная сила, обнаруживаемая въ *m*, должна также равняться $^1/_{290}$ части того давленія, которое должна обнаруживать эта точка на препятствія, непозволяющія ей приближаться къ центру земли. Слѣдовательно, вообще давленіе столба *cb* на *c* будетъ $^1/_{290}$ частію менѣе противу того, которое онъ оказывалъ бы при спокойномъ состояніи земли. Давленіе же, производимое столбомъ *ca*, очевидно нисколько не будетъ измѣнено отъ вращенія. Поэтому при вращеніи шара между равной длины столбами *ca* и *cb*, не можетъ существовать равновѣсія. Вслѣдствіе большаго давленія столба *ca*, часть жидкости перейдетъ въ отверстіе *cb*, чрезъ что произойдетъ удлиненіе радіуса *cb* и укорачиваніе радіуса *ca*. Если примѣнить къ настоящему случаю показанное нами отношеніе между напряженіемъ тяжести и центробѣжной силой, то мы придемъ къ тому заключенію, что радіусъ *cb* будетъ относиться къ радіусу *ca* какъ 289 къ 290, потому что только въ этомъ случаѣ уменьшеніе давленія столба *cb*, происходящее отъ дѣйствія центробѣжной силы, будетъ вознаграждено увеличеніемъ числа частицъ жидкости въ столбѣ *cb*. Но на самомъ дѣлѣ вычисленіе бы-

Фиг. 408.



ваетъ сложнѣе. Шарообразная фигура земли, вслѣдствіе вращенія ея на оси, переходитъ въ форму сплюснутаго сфероида; точка *b* (фиг. 409) не принадлежитъ собственно, какъ мы предполагали, шаровой поверхности и дѣйствіе на нее тяжести не будетъ поэтому равно притяженію шара, описаннаго радіусомъ *cb*; дѣйствіе это сдѣлается очевидно менѣе, потому что въ притяженіи не участвуютъ отрѣзки *ambn* и *asbt*. Если же притяженіе, обнаруживаемое на точку *b*, менѣе того, которое мы вывели прежде изъ вычисленій, не принимая во вниманіе различнаго дѣйствія центробѣжной силы, то сплюснутость земли должна быть болѣе противу выведенной нами. Ньютонъ, которому мы обязаны примѣненіемъ законовъ центробѣжной силы къ вращенію земли на оси, подвергнулъ вычисленію величину земнаго сжатія и результатомъ его вычисленій было, что земная ось должна относиться къ діаметру экватора какъ 229 къ 230. Точныя измѣренія величины и вида земли должны показать, согласенъ ли этотъ результатъ съ наблюденіемъ.

Фиг. 409.



Въ то время, когда Ньютонъ производилъ свои теоретическія розысканія, наиболѣе точнымъ считалось градусное измѣреніе Пикара, произведенное имъ въ 1669 и 1670 годахъ по порученію Парижской Академіи, между 49°54′46″ с. ш. и 48°31′48″ с. ш. На основаніи этого измѣренія было найдено, что длина градуса равна 342360 парижскимъ футамъ, откуда величина земнаго радіуса получилась равною 19,615,800 париж. футамъ. Величины эти были употреблены Ньютономъ въ его знаменитыхъ изслѣдованіяхъ, касательно притяженія земли на луну, въ разстояніи между поверхностію первой и центромъ послѣдней; одинаковую величину принялъ онъ за средній радіусъ или за такой радіусъ, который должна имѣть земля въ томъ случаѣ, если бы она не производила вращенія на оси, и вычислилъ по немъ сжатость земли. Какъ измѣренія Пикара простирались на протяженіи около полутора градуса, то изъ нихъ нельзя было еще заключить, имѣетъ ли земля въ дѣйствительности форму шара сжатаго у полюсовъ. Для разрѣшенія этого вопроса надлежало произвести гораздо большія измѣренія, которыя и были произведены по назначенію Парижской Академіи съ 1680 по 1700 годъ, на протяженіи всей Франціи отъ Дюнкирхена до Пиринеевъ. Измѣренія эти дали совершенно противоположный результатъ, вслѣдствіе ихъ должно было принять, что земля сжата у экватора, а не у полюсовъ. Но убѣжденіе въ непреложности выводовъ Ньютона было уже тогда такъ укоренено, что для объясненія полученнаго результата скорѣе рѣшились допустить ошибку въ астрономическихъ опредѣленіяхъ и геодезическихъ измѣреніяхъ, справедливость чего и подтвердилась впослѣдствіи.

Для окончательнаго разрѣшенія этого несогласія теоріи съ наблюденіями, было предпринято снова, по порученію Парижской Академіи,

градусное измѣреніе на двухъ значительно отдаленныхъ между собою пунктахъ: одно подъ экваторомъ въ Перу, а другое въ Лапландіи. Первое изъ нихъ было начато въ 1735 году подъ руководствомъ Бугера и Кондамина, а второе въ 1736 году подъ руководствомъ Мопертюи и Клеро. Изъ этихъ измѣреній сжатіе земли получилось равнымъ $^1/_{178}$, слѣдовательно болѣе противу вычисленнаго Ньютономъ, хотя впослѣдствіи и оказалось, что измѣренія, произведенныя въ Лапландіи, заключали довольно чувствительныя погрѣшности. Послѣ того по порученію французскаго и англійскаго правительствъ, были произведены въ различныхъ мѣстахъ земли многократныя измѣренія съ большею точностію, которая могла быть достигнута при помощи улучшенія инструментовъ и развитія самого способа вычисленія. Изъ этихъ измѣреній оказалось, что величина сжатія равна $^1/_{300}$ части радіуса. Съ послѣднимъ результатомъ согласуются форма земли, выведенная изъ наблюденій надъ маятникомъ и самое движеніе луны, для объясненія котораго мы должны допустить сжатіе приблизительно равное $^1/_{300}$. Если полученные этими тремя путями результаты и не согласуются между собою математически, то разница между ними весьма незначительна сравнительно съ трудностями, представляемыми каждымъ изъ этихъ способовъ. Поэтому дѣйствительное сжатіе земли принимаютъ большею частію равнымъ $^1/_{300}$ ч. радіуса. Что же касается до выведеннаго Ньютономъ сжатія $^1/_{230}$, то оно получено при предположеніи одинаковой плотности всей массы земнаго шара. Но если допустить увеличеніе плотности отъ окружности къ центру, то отъ равномѣрнаго вращенія на оси должно произойти меньшее сжатіе, поэтому подобное увеличеніе плотности земли кажется весьма вѣроятнымъ.

Опредѣленіе средней плотности земли.

§ 138. Но кромѣ услуги, оказываемой маятникомъ для опредѣленія фигуры земли, онъ представляетъ намъ возможность опредѣлить *среднюю плотность земли.*

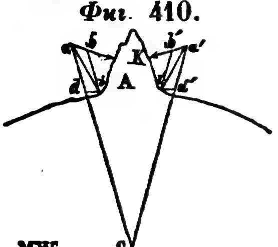
Изъ различныхъ измѣреній, производимыхъ на земной поверхности, мы можемъ найти ея величину, но это не даетъ намъ еще возможности опредѣлить вѣсъ земли, потому что для узнанія вѣса, намъ должно имѣть понятіе объ ея массѣ или о плотности ея. Въ этомъ случаѣ мы должны обратиться къ ближайшему явленію обнаруживаемому ея массою, т. е. къ притяженію. Если бы мы были въ состояніи опредѣлить притяженіе другаго тѣла, котораго масса извѣстна въ точности, то изъ отношенія притяженія, обнаруживаемаго этимъ тѣломъ къ цѣлому притяженію земли, мы бы могли судить и объ отношеніи массы этого тѣла къ полной массѣ земнаго шара. Разрѣшеніе этой задачи можетъ быть произведено посредствомъ простой нити съ гирею, которая въ сущности представляетъ ни что иное какъ маятникъ, находящійся въ равновѣсіи.

Мы уже говорили, въ началѣ статьи о притяженіи, что Бугеръ первый замѣтилъ уклоненіе маятника отъ отвѣснаго положенія вблизи горы Шимборазо и приписалъ это отклоненіе притяженію массы горы. Справедливость предположенія Бугера была подтверждена около 1772 года опытами двухъ знаменитыхъ англійскихъ естествоиспытателей астронома *Мэскліайна* и геолога *Хутона.* — Опыты ихъ были произведены въ Шотландіи у сѣверной и южной подошвы Шегальенскихъ горъ. Чтобы убѣдиться въ существованіи отклоненія маятника, находящагося въ равновѣсіи, надлежало искать постоянной точки между звѣздами, потому что причина, производящая отклоненіе маят-

ника должна также измѣнять и направленіе спокойныхъ водъ, къ которымъ мы обыкновенно относимъ перпендикулярность нити, натянутой гирею. Изъ обѣихъ точекъ наблюденія на сѣверной и южной подошвѣ горъ была направлена астрономическая труба на извѣстныя звѣзды, потомъ были опредѣлены разности угловъ, образуемыхъ этими направленіями съ положеніемъ отвѣса въ обѣихъ точкахъ.

Такимъ образомъ было найдено истинное наклоненіе отвѣсовъ другъ къ другу съ обѣихъ сторонъ горы, у подошвы которой были произведены наблюденія. Уголъ образуемый этими наклоненіями простирался до 53 секундъ (фиг. 410). Послѣ того надлежало опредѣлить, какова должна быть величина этого угла въ томъ случаѣ, если бы между мѣстами наблюденія не существовало горы. Для этого необходимо было знать величину точнаго разстоянія между мѣстами наблюденія. Это разстояніе было опредѣлено измѣреніемъ, произведеннымъ черезъ поверхность горы въ величайшею точностію лучшими геометрами того времени. Изъ самой же величины земли можно было опредѣлить, на сколько должно измѣняться наклоненіе отвѣса для каждыхъ 100 футовъ разстоянія. Изъ вычисленія найдено, что если бы не существовало горы между мѣстами наблюденій, то наклоненіе отвѣсовъ должно составлять уголъ въ 41 секунду. Различіе между вычисленнымъ и найденнымъ изъ опыта угломъ очевидно происходило отъ вліянія притяженія горы, масса которой, притягивая къ себѣ отвѣсъ какъ съ сѣверной, такъ и съ южной стороны, заставила оба отвѣса образовать уголъ не въ 41, но въ 53 секунды. Ясно, что сумма обоихъ притяженій горы должна простираться до 12 секундъ.

Фиг. 410.



Изъ этихъ данныхъ опредѣлили среднюю плотность земли. По измѣреніи горы былъ снятъ съ ней точный планъ, посредствомъ котораго можно было судить о самой величинѣ горы. Самая же величина притяженія горы была вычислена при томъ предположеніи, что средняя плотность горы равна средней плотности земнаго шара и нашли, что эта величина приблизительно равна $^1/_{9933}$ части полнаго притяженія земли, что почти соотвѣтствуетъ отклоненію въ 21 сек. Найденная же изъ опыта величина притяженія простиралась только до 12 сек., слѣдовательно около $^1/_{17804}$ ч. земнаго притяженія. Поэтому плотность горы могла составлять только $^5/_9$ отъ средней плотности всего земнаго шара, а это значитъ, что послѣдняя почти вдвое болѣе противу первой. Хутонъ изслѣдовалъ тщательно виды породъ входившихъ въ составъ горы. Главнѣйшія вещества, входившія въ составъ горы, были кварцъ и слюдяный сланецъ, плотность которыхъ почти $2^3/_4$ раза болѣе плотности воды. Вводя эту величину въ вычисленіе, нашли, что плотность земли должна быть въ 5 разъ болѣе противу плотности воды.

Вслѣдъ за этими опытами, основаніемъ которыхъ было уклоненіе маятника, находившагося въ равновѣсіи, *Карлини* имѣлъ въ виду достигнуть той же цѣли посредствомъ качаній маятника, производимыхъ вліяніемъ протяженія горы. Онъ расположилъ секундный маятникъ на вершинѣ Монъ Сениса, изслѣдовавъ предварительно видъ, величину и плотность этой горы, и опредѣлилъ изъ числа колебаній длину употребленнаго имъ маятника. Послѣ того онъ вычислилъ изъ наблюденій у поверхности моря, какова должна была длина секунднаго маятника на высотѣ соотвѣтствующей вершинѣ горы, въ томъ случаѣ, если бы между маятникомъ и поверхностію земли, лежащей на одномъ уровнѣ съ поверхностію моря, не существовало бы вовсе горы. Онъ нашелъ, что найденная длина почти на $^1/_8$ линіи больше вычисленной. А какъ ему было извѣстно удаленіе маятника отъ центра тяжести горы и земли, то на основаніи этихъ данныхъ онъ могъ изъ отношенія притяженія горы къ притяженію земли судить и объ отношеніи ихъ массъ, изъ котораго не трудно уже было

вычислить плотность земли. Онъ нашелъ, что она въ $4^3/_8$ раза болѣе противу плотности воды.

Но всѣ эти опыты кромѣ самой трудности точнаго измѣренія и вычисленія массы огромной горы были подверженны еще и другому неудобству, заключавшемуся въ томъ, что по различію плотности слоевъ земли у мѣстъ наблюденія невозможно судить о величинѣ обнаруживаемаго тамъ притяженія.

Эта неравномѣрность плотности земныхъ слоевъ могла оказывать замѣтное вліяніе на маятникъ. Масса гранита или углубленіе величиною съ гору, у которой производилъ наблюденія Мэсклейнъ, могутъ производить отклоненіе отвѣса въ ту или другую сторону на уголъ въ 2 или $3^1/_2$ секунды, въ томъ случаѣ, если онѣ находятся надъ поверхностію земли близь наблюдаемаго отвѣса. Поэтому для доставленія опытамъ большей точности надлежало опредѣлить притяженіе горы независимо отъ притяженія земли.

Всякій маятникъ, висящій на ниткѣ, какъ мы уже знаемъ, подверженъ дѣйствію тяжести. Для устраненія этого неудобства употребляютъ маятникъ находящійся въ горизонтальномъ положеніи. Такой маятникъ можетъ представить намъ легко подвижной рычагъ, покоющійся на одной точкѣ. Приблизивъ къ одной изъ оконечностей этого рычага съ боку массу извѣстнаго объема, какъ напр. шаръ, мы найдемъ, что притяженіе этой массы будетъ стремиться приводить рычагъ во вращеніе и этому вращенію очевидно нисколько не будетъ противодѣйствовать тяжесть, потому что направленіе этого притяженія совершается не по отвѣсному, но по горизонтальному направленію.

Такимъ образомъ рычагъ совершаетъ горизонтальныя качанія, которыхъ величина можетъ быть удвоена, если мы приблизимъ двѣ равныя массы къ двумъ оконечностямъ рычага.

Установленный такимъ образомъ горизонтальный маятникъ есть ничто иное какъ описанный нами выше приборъ Кавендиша, извѣстный подъ названіемъ Крутительныхъ вѣсовъ.

Вѣсы эти, какъ мы уже видѣли, могутъ служить доказательствомъ существованія притяженія между массами на земной поверхности.

Они даютъ намъ подтвержденіе математическаго вывода законовъ этого притяженія. Въ настоящемъ случаѣ мы покажемъ приспособленіе этого прибора къ опредѣленію средней плотности земли.

Крутительные вѣсы, какъ мы сказали, представляютъ маятникъ, качающійся по горизонтальному направленію. Но сила, съ которою горизонтальный маятникъ приводится въ движеніе, очевидно соотвѣтствуетъ только величинѣ боковаго его отклоненія и потому сила эта находится въ томъ же самомъ отношеніи къ цѣлому вѣсу небольшаго шарика, находящагося на его концѣ, какъ и величина боковаго отклоненія къ длинѣ маятника. Поэтому, если два большіе шара отклоняютъ два меньшіе въ секунду на одинъ дюймъ изъ ихъ состоянія равновѣсія и если длина маятника, положимъ, равна 39 дюймамъ, то сила, отклоняющая маятникъ на одинъ дюймъ въ сторону, будетъ равна $^1/_{39}$ его вѣса. Для болѣе медленныхъ качаній отклоняющая сила должна уменьшаться пропорціонально квадратамъ временъ качаній.

Если эти шарики дѣлаютъ одно качаніе въ 10 секундъ, то сила, отклонявшая ихъ на одинъ дюймъ, будетъ простираться только на $^1/_{3900}$ ихъ вѣса.

Время качанія шариковъ, находящихся на оконечностяхъ горизонтальнаго рычага, можетъ быть удобно наблюдаемо въ крутительныхъ вѣсахъ, что даетъ намъ возможность вычислить величину отклоняющей силы или притяженія соотвѣтствующаго наблюденію. Какая же точность должна быть употреблена какъ при наблюденіи, такъ и при вычисленіи, видно изъ того, что цѣлое притяженіе большихъ шаровъ составляетъ около $^1/_{30\,000,000}$ части вѣса малыхъ шариковъ и что возможная при этомъ ошибка не должна превосходить $^1/_{50}$ части этой незначительной величины.

Изъ величины большихъ шаровъ и ихъ разстоянія отъ малыхъ, изъ величины земли и удаленія малыхъ шариковъ отъ ея центра можно вычислить отношеніе, въ которомъ находится притяженіе обнаруживаемое большими

шарами на малые къ притяженію, производимому землею на послѣдніе, т. е. къ вѣсу ихъ. Изъ величины притяженія можетъ быть выведенъ вѣсъ земли и плотность ея. Изъ 2000 наблюденій, произведенныхъ крутительными вѣсами, найдено, что средняя плотность земли въ $5^2/_3$ раза болѣе противу плотности воды. Примѣняя къ этому выводу найденную изъ измѣреній величину земли, получимъ, что вѣсъ ея простирается до $13^1/_2$ квадрильоновъ фунтовъ.

Покажемъ теперь, какимъ образомъ на основаніи результатовъ, доставленныхъ маятникомъ, мы получаемъ возможность судить о самой внутренности обитаемой нами планеты. Если сравнить полученную среднюю плотность земли съ плотностію массъ, лежащихъ на ея поверхности, то найдемъ, что наиболѣе распространенныя между ними, гранитъ, известнякъ, глина, песокъ только отъ 2 до 3 разъ плотнѣе воды, слѣдовательно едва достигаютъ половины общей плотности земли. Наиболѣе плотныя массы, встрѣчаемыя нами на землѣ суть металлы, но они не распространены въ такомъ значительномъ количествѣ, чтобы въ состояніи были содѣйствовать увеличенію плотности земныхъ слоевъ. Поэтому мы должны придти къ тому заключенію, что плотность земли увеличивается по мѣрѣ приближенія отъ поверхности къ центру ея и это увеличеніе плотности должно быть даже значительное для того, чтобы тяжесть внутренней массы въ состояніи была вознаграждать незначительную плотность наружнаго слоя. Изъ чего именно состоятъ эти плотные слои, составляющіе ядро земнаго шара, неизвѣстно до настоящаго времени и всѣ заключенія относительно этого предмета ограничиваются одними ипотезами, предметъ которыхъ относится собственно къ геологіи. Мы можемъ только заключать, что ядро должно состоять изъ твердаго тѣла. Нѣкоторые допускаютъ быстрое увеличеніе плотности верхнихъ слоевъ земли, предполагая, что при этомъ можетъ существовать внутри земли пустота. Но подобное размѣщеніе слоевъ земли не могло бы существовать безъ нарушенія постоянной плотности земнаго шара. Такому размѣщенію препятствуетъ самый видъ земли. Сжатіе ея у полюсовъ, какъ мы показали, есть слѣдствіе вращенія на оси. Но наружныя части земли, описывающія большіе круги, пріобрѣтаютъ вслѣдствіе того и большую центробѣжную силу, которая служитъ причиною тому, что слои эти оказываютъ большее вліяніе противу внутреннихъ слоевъ на самую форму земли. Если бы эти наружные слои были плотнѣе внутреннихъ, то и дѣйствіямъ ихъ центробѣжной силы было бы болѣе значительное сжатіе, противу того, которое обнаруживаетъ въ дѣйствительности земля. Но самое заблужденіе Ньютона, который при допущеніи равномѣрной плотности земли нашелъ гораздо большее сжатіе противу того, которое было выведено непосредственно изъ измѣреній, должно насъ привести къ заключенію, что незначительное сжатіе, существующее на самомъ дѣлѣ, есть слѣдствіе увеличенія плотности земли по направленію къ ея центру или, говоря другими словами, перевѣсъ плотности ядра надъ корою.

Общее понятіе о тяготѣніи.

Движеніе небесныхъ тѣлъ. § 139 Мы предполагаемъ здѣсь извѣстнымъ, что луна, земля и другія планеты суть тѣла свободно двигающіяся въ пространствѣ и въ настоящемъ случаѣ мы будемъ имѣть только въ виду объяснить, въ общихъ чертахъ, какимъ образомъ производятся движенія ихъ.

Для этого возмемъ движеніе луны. Если бы луна въ извѣстный моментъ времени не была подвержена дѣйствію постороннихъ силъ или, говоря другими словами, если бы она была предоставленна самой себѣ, то очевидно, что вслѣдствіе инерціи она будетъ продолжать двигаться равномѣрно со скоростію пріобрѣтенной въ послѣдній моментъ дѣйствія силы по направленію прямой

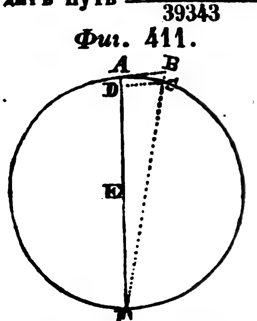
линіи. Но какъ астрономическія изысканія убѣждаютъ насъ, что движеніе луны, подобно тому какъ и движеніе прочихъ планетъ, совершается по замкнутымъ кривымъ линіямъ, то мы должны допустить, что это уклоненіе отъ прямолинейнаго пути происходитъ вслѣдствіе дѣйствія на луну посторонней силы, которая заставляетъ ее описывать круговой путь вокругъ земли.

Какая же именно сила производитъ это дѣйствіе? Не та ли самая, которая заставляетъ камень или всякое другое тѣло падать на землю? Если мы примемъ, что тяжесть, обнаруживающаяся на земной поверхности при свободномъ паденіи тѣлъ, дѣйствуетъ за предѣлы нашей атмосферы и достигаетъ до луны, то очевидно, что напряженіе этой силы, какъ и всякой другой силы, по мѣрѣ удаленія отъ земли должно уменьшаться согласно квадрату разстоянія, то есть, что при удвоеніи, утроеніи и т. д. разстоянія между средоточіемъ земли и притягиваемымъ тѣломъ напряженіе тяжести будетъ въ 4, въ 9 и т. д. разъ слабѣе. Какъ луна отстоитъ въ 60 разъ далѣе отъ центра земли нежели поверхность послѣдней, то напряженіе тяжести на лунѣ будетъ въ 60^2 разъ или въ 3600 разъ слабѣе нежели на земной поверхности. Поэтому, если пространство, проходимое падающимъ тѣломъ въ первую секунду, на земной поверхности равно 4,9 метра, то пространство, которое должна пройти луна при движеніи своемъ къ землѣ, должно быть равно въ секунду $\frac{4,9}{60^2}$, слѣдовательно въ минуту, т. е. въ 60 секундъ $\frac{4,9}{60^2} \times 60^2 = 4,9$ метра. Это значитъ, что пространство, которое бы должна пройти луна при паденіи своемъ къ землѣ въ теченіи минуты, равно пространству, проходимому тѣломъ падающимъ на земной поверхности въ первую секунду паденія.

Изъ законовъ центральнаго движенія мы знаемъ, что это движеніе обусловливается отношеніемъ между силой, сохраняемой тѣломъ по инерціи, и тою силой, которая приближаетъ ее къ центру движенія. Чтобы убѣдиться въ томъ, дѣйствительно ли тяжесть принимаетъ участіе въ движеніи луны, намъ должно найти для извѣстнаго времени величину центростремительной силы постоянно искривляющей путь движенія этого спутника нашей планеты и сравнить эту величину съ тѣмъ пространствомъ, которое мы нашли для паденія луны при предположеніи дѣйствія на нее тяжести.

Величина земнаго экватора, какъ мы уже говорили, простирается до 40 милліоновъ метровъ, а какъ радіусъ пути, описываемаго луною, по вычисленіямъ астрономическимъ равняется 60 земнымъ радіусамъ, то длина круговаго пути луны должна быть равна 2400 милліонамъ метровъ; путь этотъ, какъ извѣстно, луна совершаетъ въ 27 дней, 7 часовъ и 43 минуты или, что одно и тоже, въ 39343 минуты. Слѣдовательно въ каждую минуту она проходитъ путь $\frac{2,400,000,000}{39343}$ или 61,000 метровъ. Положимъ, что (на фиг. 411) AC

Фиг. 411.



представляетъ часть дуги въ 61,000 метр. которую проходитъ луна въ минуту; поэтому линія AD будетъ выражать путь, на который бы приблизилась луна къ землѣ въ продолженіи минуты въ томъ случаѣ, если бы прекратилось внезапно движеніе сохраняемое луною по инерціи. Величину этого пути AD, какъ мы уже знаемъ изъ механики, можно вычислить, принимая дугу AC за прямую линію, отъ которой эта дуга весьма мало отклоняется по незначительности своей сравнительно съ цѣлымъ путемъ луны. Опредѣляемая величина равна квадрату дуги, раздѣленной на удвоенный радіусъ, т. е. $AD = \frac{AC^2}{AF}$. Вставляя вмѣсто AC и AF, равныя имъ величины, выраженныя въ метрахъ, т. е. для AC — 61,000 метр., а для діаметра пути луны 763,950,000 метр., получимъ, что $AD = 4,87$ метр.

Сравнивая полученный нами результатъ изъ астрономическихъ наблюденій 4,87 метр. съ пространствомъ, которое бы луна должна пройти въ тоже время при паденіи своемъ къ землѣ вслѣдствіе законовъ свободнаго паденія тѣлъ и которое равно 4,87 метр. въ минуту, мы находимъ весьма малую разницу и даже разница не существовала, если бы мы для большей простоты вычисленія не ввели въ него приближенныхъ величинъ. Такъ напр. при времени обращенія луны мы оставили безъ вниманія секунды и самое удаленіе луны отъ земли положили равнымъ 60 земнымъ радіусамъ, тогда какъ въ дѣйствительности оно равно 60,16 радіуса.

На основаніи этого согласія выводовъ мы имѣемъ полное право допустить, что таже самая сила, которая заставляетъ камень приближаться къ земной поверхности, заставляетъ луну описывать круговое движеніе вокругъ земли. Такимъ образомъ тяжесть есть таже самая сила, которая дѣйствуетъ между небесными тѣлами, и называется *тяготѣніемъ*. Открытіемъ этого тожества мы обязаны глубокой проницательности и неутомимымъ изслѣдованіямъ Ньютона безсмертную славу котораго можетъ обезпечить одно уже это открытіе.

Ньютонъ ввелъ въ свои вычисленія для земнаго радіуса и слѣдовательно для удаленія луны (60 радіусовъ) величину менѣе настоящей и поэтому, восходя отъ напряженія тяжести на землѣ до напряженія тяжести, соотвѣтствующаго разстоянію луны отъ земли, онъ нашелъ большую противу настоящаго величину. По его вычисленіямъ величина пространства паденія была болѣе противу выведенной изъ астрономическихъ наблюденій.

Разница эта была такъ велика, что самъ Ньютонъ готовъ былъ отказаться отъ своей теоріи, т. е. онъ оставилъ мысль, чтобы центробѣжная сила, обусловливающая круговое движеніе луны, была бы сила тожественная съ тяжестію. Онъ предполагалъ даже, что послѣдняя не дѣйствуетъ согласно закону квадратовъ разстояній и что наконецъ въ движеніи луны кромѣ земной тяжести должна участвовать еще другая неизвѣстная сила.

Въ теченіи 12 лѣтъ онъ оставилъ безъ изслѣдованія свои розысканія объ этомъ предметѣ. Въ іюнѣ мѣсяцѣ 1682 года, во время нахожденія своего въ Лондонѣ онъ присутствовалъ въ засѣданіи Королевскаго Общества, гдѣ было читано полученное извѣстіе объ измѣреніи градусовъ меридіана, произведенномъ во Франціи Астрономъ Пикаромъ. Измѣреніе это показывало, что земной радіусъ должно $^1/_7$ было принять болѣе противу величины введенной имъ въ вычисленіе. Возвратившись въ Кембриджъ, онъ занялся повѣркою прежнихъ своихъ вычисленій, которая при самомъ началѣ обѣщала достиженіе счастливаго результата. Несомнѣнный успѣхъ возбудилъ въ немъ восторгъ, который не позволилъ ему самому продолжать вычисленія и онъ передалъ его для окончанія одному изъ своихъ друзей. По окончаніи вычисленія найдено было, что дѣйствіе земной тяжести, опредѣленное опытами надъ паденіемъ тѣлъ и уменьшенное пропорціонально квадрату разстоянія, равнялось уже съ незначительною разностію центростремительной силѣ луны, выведенной изъ скорости ея обращенія.

Результаты неутомимыхъ своихъ изысканій надъ центральнымъ движеніемъ небесныхъ тѣлъ Ньютонъ изложилъ въ классическомъ сочиненіи своемъ *«Philosophiae naturalis principia mathematica: математическія начала естественной философіи.»*

Такимъ образомъ изъ сказаннаго нами слѣдуетъ, что дѣйствіе тяжести простирается на луну. Разсмотримъ нѣсколько ближе участіе этой силы при движеніи луны.

Отъ дѣйствія тяжести луна должна стремиться упасть на землю точно также какъ падаетъ камень или другое тѣло отдѣленное отъ земли. Луна бы дѣйствительно упала на землю, если бы при самомъ началѣ дѣйствія тяжести она не имѣла скорости пріобрѣтенной ею отъ дѣйствія какой либо посторон-

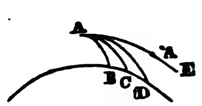
щей силы. Сила эта должна дѣйствовать при самомъ началѣ перпендикулярно къ направленію дѣйствія тяжести и потому луна находится въ этомъ случаѣ при тѣхъ же условіяхъ какъ и всякое вѣсомое тѣло, брошенное горизонтально. Если она и не описываетъ подобно этому тѣлу параболы, то это происходитъ отъ того, что по мѣрѣ перемѣщенія ея въ пространствѣ, сила тяжести, дѣйствующая изъ центра земли, постоянно измѣняется въ своемъ направленіи, тогда какъ дѣйствія той же самой силы на тѣло, брошенное на земной поверхности горизонтально, мы можемъ принять за параллельныя по причинѣ незначительности пробѣгаемаго имъ пространства относительно размѣровъ земли.

Если бросать пушечное ядро съ постоянно увеличивающеюся силою по направленію параллельному къ горизонту, то оно будетъ падать на землю въ точкахъ все болѣе и болѣе отдаленныхъ отъ мѣста выстрѣла и описываемая имъ парабола будетъ имѣть постоянно уменьшающуюся кривизну. Если бы поверхность земли была плоская, (фиг. 412), то ядро будетъ всегда встрѣчать эту поверхность, какъ бы не была велика скорость, сообщаемая ему при началѣ верженія. Но поверхность земли шарообразна, потому что земля имѣетъ видъ почти совершеннаго шара; слѣдовательно ядро упадетъ на землю только тогда, когда параболы *AB*, или *AC*, или *AD* (фиг. 413), описываемыя имъ отъ дѣйствія тяжести, будутъ имѣть большую кривизну противу земной поверхности. Но если скорость, пріобрѣтенная при началѣ верженія, будетъ достаточно велика для того, чтобы кривизна параболы *AE*, описываемой ядромъ, была одинакова съ кривизною земной поверхности, то ядро уже не упадетъ на эту поверхность.


Фиг. 412.



Фиг. 413.



Обладая въ этомъ случаѣ большою скоростію, оно можетъ удалиться значительно отъ точки своего исхода и потому мы не можемъ уже предполагать, что тяжесть дѣйствуетъ на него въ направленіяхъ параллельныхъ, а слѣдовательно и самое движеніе его не будетъ уже совершаться по параболѣ. Мы должны допустить, что движеніемъ ядра управляютъ уже не параллельныя, но постоянно сходящіяся въ центрѣ земли дѣйствія тяжести. Вслѣдствіе того, если ядро опишетъ дугу *AA'*, не приблизившись къ землѣ, то оно будетъ находиться въ точкѣ *A'* въ точно тѣхъ же условіяхъ какъ и въ точкѣ *A* при началѣ своего движенія. Тоже самое мы можемъ сказать и о дальнѣйшихъ точкахъ движеній ядра. Поэтому ядро будетъ вращаться вокругъ земной поверхности, никогда не встрѣчая ее по крайней мѣрѣ до тѣхъ поръ, пока какая либо посторонняя причина, какъ напр. сопротивленіе воздуха, не уменьшитъ скорости его движенія. Вычисленіе показываетъ, что для доставленія описаннаго нами движенія ядру, брошенному горизонтально, необходимо сообщить ему скорость немного менѣе 8000 метровъ въ секунду. Въ тѣхъ же самыхъ обстоятельствахъ находится луна при движеніи своемъ вокругъ земли: скорость луны въ каждый моментъ движенія такъ велика, что въ состояніи заставить ее описывать около земли замкнутую кривую линію близко подходящую къ кругу. Тоже самое происходитъ при движеніи земли и другихъ планетъ вокругъ солнца.

Законы движенія планетъ вокругъ солнца были выведены изъ астрономическихъ наблюденій Кеплеромъ и потому носятъ названіе *Кеплеровыхъ законовъ*.

Они заключаются въ слѣдующемъ:

1) Движеніе планетъ совершается по эллипсамъ, въ одномъ изъ фокусовъ которыхъ находится солнце.

2) Если провести отъ солнца къ какой нибудь планетѣ линію, по направленію которой планета притягивается солнцемъ, то линія эта будетъ описывать въ равныя времена равныя площади.



3) Для различныхъ планетъ кубы среднихъ разстояній ихъ отъ солнца относятся между собою какъ квадраты ихъ временъ обращенія.

Для объясненія этихъ законовъ могутъ служить разсужденія, приведенныя нами въ 63, 64, 65, 66 и 67 параграфахъ.

Дѣйствіе тяжести на жидкія тѣла.

Равновѣсіе капельножидкихъ тѣлъ.

(*Гидростатика*). *

Существенныя свойства жидкостей.

§ 140. Число тѣлъ, имѣющихъ при обыкновенной температурѣ видъ жидкостей, весьма ограничено; къ наиболѣе извѣстнымъ изъ нихъ принадлежатъ: вода, винный спиртъ, масла и ртуть. Многія же прочія жидкости, какъ напр. молоко, пиво, вино, водка, чернила и др., представляютъ собою не что иное, какъ смѣшеніе воды съ другими жидкостями или съ твердыми тѣлами, которыя растворены въ ней химически. Мы будемъ разсматривать здѣсь только механическія свойства жидкостей, происходящія отъ дѣйствія тяжести и легкой подвижности ихъ частицъ, и ограничимся изслѣдованіемъ воды, какъ жидкости наиболѣе распространенной въ природѣ.

Прежде нежели приступимъ къ изслѣдованію законовъ равновѣсія жидкостей, мы займемся предварительно разсмотрѣніемъ тѣхъ свойствъ, которыя зависятъ отъ легкой подвижности ихъ частицъ и служатъ основаніемъ всему ученію о жидкостяхъ.

Главнѣйшее отличіе жидкихъ тѣлъ отъ твердыхъ заключается, какъ мы уже говорили, въ легкой подвижности ихъ частицъ.

Въ этомъ отношеніи жидкости представляютъ сродство съ газами: при малѣйшемъ дѣйствіи внѣшней силы, частицы тѣхъ и другихъ измѣняютъ свое положеніе, и при самомъ незначительномъ давленіи стремятся къ удаленію другъ отъ друга въ томъ случаѣ, если этому стремленію не противопоставлено какое нибудь сопротивленіе, какъ напр. стѣны сосудовъ, заключающихъ ихъ.

Но этою легкою подвижностью частицъ жидкости обладаютъ въ меньшей степени противу газовъ, потому что первыя при одномъ и томъ же объемѣ принимаютъ различныя формы, между тѣмъ какъ послѣдніе измѣняютъ отъ давленія и форму и объемъ.

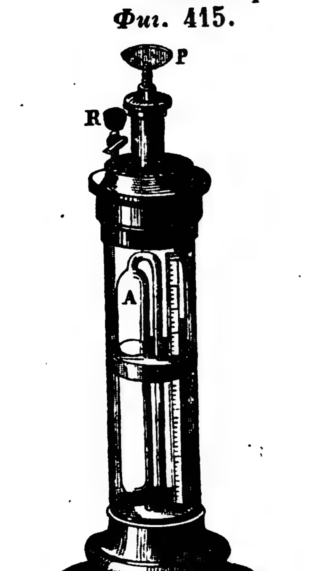
Другое отличіе жидкостей заключается въ незначительной сжимаемости ихъ, тогда какъ газы обладаютъ въ высшей степени этимъ свойствомъ.

* Отъ греческихъ словъ: *вода* и *стою спокойно*.

Вслѣдствіе описаннаго нами выше опыта флорентинскихъ академиковъ долгое время думали, что жидкости совершенно несжимаемы. Потомъ изысканія надъ этимъ предметомъ были послѣдовательно производимы въ Англіи Кентономъ въ 1761 г. и Перкинсомъ въ 1819 г.; въ Копенгагенѣ Эрстетомъ въ 1823 г., наконецъ въ Парижѣ Колладономъ и Штурмомъ въ 1827 г., и этими различными опытами доказано, что жидкости дѣйствительно сжимаемы.

Приборы, служащіе для измѣренія сгущаемости жидкостей, называются *пьезометрами* (отъ греческихъ словъ: *давить* и *мѣра*). Мы опишемъ пьезометръ Эрстета, съ нѣкоторыми измѣненіями, сдѣланными въ немъ французскимъ физикомъ Депрецомъ (фиг. 415). Этотъ приборъ состоитъ изъ плотнаго стекляннаго цилиндра съ весьма толстыми стѣнками и діаметромъ отъ 8 до 9 сантиметровъ. Цилиндръ закрытъ снаружи деревяннымъ пьедесталомъ, въ который онъ плотно вдѣланъ; къ верхней же части цилиндра плотно прикрѣпленъ мѣдный цилиндрическій сосудъ, запирающійся крышкою, которая по произволу можетъ быть отвинчиваема. Сквозь эту крышку проходятъ воронка *R*, чрезъ которую вливаютъ въ цилиндръ воду, и небольшой насосъ съ плотно входящимъ въ него поршнемъ, приводимымъ въ движеніе посредствомъ нажимательнаго винта *P*.

Фиг. 415.



Внутри прибора находится стеклянный резервуаръ *A*, наполненный сгущаемою жидкостью. Этотъ резервуаръ въ верхней части своей оканчивается волосною трубкою, которая загибается и погружается въ ртуть *O*. Эту трубку раздѣляютъ заранѣе на части равнаго протяженія и опредѣляютъ сколько этихъ частей заключается въ резервуарѣ; для чего отыскиваютъ вѣсъ P ртути, содержимой резервуаромъ A и вѣсъ p ртути, заключающейся въ извѣстномъ числѣ n дѣленій волосной трубки. Представивъ тогда чрезъ N число дѣленій трубки, заключающихся въ резервуарѣ, получимъ, что $N:n=P:p$; откуда опредѣляли величину N.

Наконецъ внутри цилиндра есть еще *манометръ со сжатымъ воздухомъ*. Такъ называется стеклянная трубка *B*, которой верхній конецъ запаянъ, а нижній открытъ и погруженъ во ртуть, находящуюся на днѣ прибора. Пока не производится никакого давленія на воду, наполняющую цилиндръ, то трубка *B* вся наполнена воздухомъ; но лишь только посредствомъ винта *P* и поршня сожмемъ воду въ цилиндрѣ, то давленіе передается ртути, которая и поднимается въ трубкѣ *B*, сгущая находящійся въ ней воздухъ. Раздѣленная на

градусы доска *C*, расположенная по длинѣ этой трубки, показываетъ убавленіе объема воздуха; по этому же убавленію можно судить о силѣ давленія на жидкость въ цилиндрѣ, какъ это мы увидимъ впослѣдствіи при разсмотрѣніи началъ, на которыхъ основано устройство манометровъ.

Приступая къ произведенію опыта посредствомъ этого прибора, прежде всего наполняютъ резервуаръ *A* сгущаемою жидкостью; потомъ чрезъ воронку *R* наполняютъ цилиндръ водою. Поворачивая тогда винтъ *P* такъ, чтобы поршень опускался, мы производимъ послѣднимъ давленіе на воду и ртуть, находящуюся въ приборѣ; вслѣдствіе этого давленія ртуть не только поднимается какъ въ трубку *B*, такъ и въ волосную трубку, соединенную съ резервуаромъ *A*. Это поднятіе ртути въ волосной трубкѣ показываетъ, что жидкость въ резервуарѣ уменьшилась въ объемѣ, а какъ мы знаемъ, что резервуаръ содержитъ *N* дѣленій трубки, то ясно, что по числу дѣленій, занятыхъ ртутью въ волосной трубкѣ, можно судить и о самой мѣрѣ сгущенія жидкости.

Эрстетъ, въ своихъ опытахъ предположилъ, что объемъ резервуара остается неизмѣненъ, потому что стѣнки его одинаково сжимаются какъ съ наружной, такъ и со внутренней стороны. Но математическій анализъ доказываетъ, что этотъ объемъ уменьшается отъ дѣйствія внутренняго и внѣшняго давленія. Колладонъ и Штурмъ въ своихъ опытахъ принимали въ разсчетъ это измѣненіе объема. Эти ученые нашли для давленія, равнаго давленію атмосферы при температурѣ 0°, слѣдующія сгущенія:

Ртуть	5	милліонныхъ	первоначальн.	объема.
Дистиллированная вода неочищенная отъ воздуха . .	45	»	»	»
Дистиллированная вода очищенная отъ воздуха	51	»	»	»
Сѣрный эѳиръ	133	»	»	»

Кромѣ того они же нашли, посредствомъ наблюденій надъ водою и ртутью, что въ извѣстныхъ предѣлахъ уменьшеніе объема этихъ жидкостей пропорціонально давленію.

Законъ Паскаля

§ 141. Мы знаемъ, что всѣ окружающія насъ тѣла покоряются притяженію земли, на которой онѣ находятся. Независимо отъ этого, тѣла могутъ заключать всѣ другія свойства и потому при разсмотрѣніи послѣднихъ, мы вправѣ отдѣлить отъ нихъ дѣйствіе тяжести, т. е. представить себѣ тѣла эти такимъ образомъ, какъ будто на нихъ не дѣйствуетъ сила тяжести. Допущеніемъ такого предположенія мы нисколько не измѣняемъ основныхъ свойствъ этихъ тѣлъ. И въ самомъ дѣлѣ, подъ тяжестію мы разумѣемъ притяженіе земли на тѣла, находящіяся въ сферѣ ея притяженія. Если бы каждое изъ нихъ было перенесено въ пространство, чрезвычайно удаленное отъ земли и отъ всѣхъ небесныхъ тѣлъ, которыя способны къ обнару-

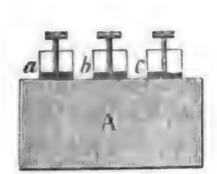
женію подобнаго притяженія, то очевидно, что тѣла перестанутъ быть тяжелыми; но это не помѣшаетъ сохранить имъ свои основныя свойства. Поэтому при разсмотрѣніи свойствъ, основанныхъ на легкой подвижности жидкостей, мы будемъ изслѣдовать ихъ независимо отъ дѣйствія тяжести.

Устраняя отъ жидкостей дѣйствіе тяжести и разсматривая ихъ какъ тѣла почти несжимаемыя и обладающія единственно легкою подвижностію своихъ частицъ, мы найдемъ слѣдующія свойства.

1) *Давленіе, производимое по какому нибудь направленію на жидкость, заключающуюся въ сосудѣ, обнаруживаетъ совершенно другое дѣйствіе, нежели на твердое тѣло.*

Представимъ себѣ, что въ сосудѣ *A* (фиг. 416) заключается твердое тѣло, плотно прилегающее со всѣхъ сторонъ къ стѣнкамъ сосуда. Оставляя безъ вниманія дѣйствіе тяжести на это тѣло, положимъ, что на него посредствомъ подвижнаго поршня *a* произведено извѣстное давленіе *P*, напр. равное 10 фунтамъ, по направленію перпендикулярному сверху внизъ. Понятно, что это давленіе должно распространяться подъ нижнею поверхностію поршня *a*, отъ слоя къ слою, по направленію отвѣсному, до самаго дна сосуда. Часть дна, отвѣсно лежащая подъ поршнемъ, будетъ претерпѣвать точно такое давленіе какъ и въ томъ случаѣ, если бы она выносила непосредственно давленіе 10 фунтовъ.

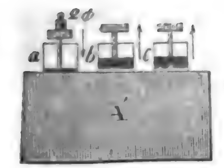
Фиг. 416.

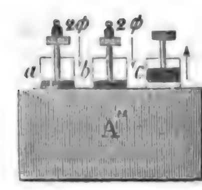


Какъ это давленіе поршня передается отвѣсно книзу и какъ твердыя тѣла не обладаютъ легкою подвижностію, которая бы позволяла передавать въ стороны сообщаемое имъ давленіе, то очевидно, что послѣднее не должно сообщаться боковымъ стѣнкамъ сосуда. Тоже самое мы можемъ сказать и о верхней стѣнкѣ сосуда: ни одинъ изъ поршней *b* и *c* не поднимется кверху, чего должно было бы ожидать, еслибъ давленіе, сообщаемое твердому тѣлу поршнемъ *a*, передавалось во всѣ стороны.

Совсѣмъ другое должны представлять намъ жидкости. Каждая прикасающаяся къ поршню частица, обладая легкою подвижностію по всѣмъ направленіямъ, уступаетъ давленію и стремится передать его во всѣ стороны съ силою соотвѣтствующею давленію. Чтобы убѣдиться въ этомъ наполняютъ водою сосудъ, представленный на фиг. 416-й. Если запереть плотно три равныя трубки *a*, *b* и *c* тремя равными поршнями, доходящими до самой поверхности воды въ сосудѣ и произвести на одинъ изъ нихъ *a* (фиг. 417) давленіе или рукою или посредствомъ какой либо гири, то увидимъ, что сосѣдніе поршни *b* и *c* поднимутся, какъ показываютъ стрѣлки на фиг. 418.

Фиг. 417 и 418.

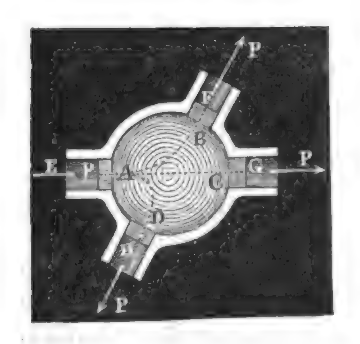




Поршни же *b* и *c* могли подняться въ томъ только случаѣ, если частицы воды, прикасающіяся съ поршнемъ *a*, распространяютъ сообщенное имъ давленіе чрезъ всю массу жидкости до самой крышки сосуда.

Что это давленіе распространяется не только кверху, но и *по всѣмъ направленіямъ*, можно видѣть изъ опыта, представленнаго на фиг. 419. Она изображаетъ горизонтальный разрѣзъ сосуда, въ которомъ сдѣланы четыре одинаковыя отверстія, запирающіяся совершенно равными поршнями.

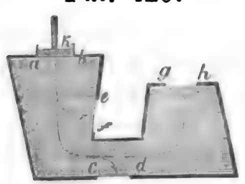
Фиг. 419.



Намъ остается только подтвердить опытомъ, что это давленіе передается съ *одинаковою* силой. Но такого доказательства мы не можемъ произвести съ точностію, потому что при опытахъ мы не въ состояніи ни устранить вліянія тяжести на жидкость, ни освободить отъ тренія поршни, передающіе давленіе.

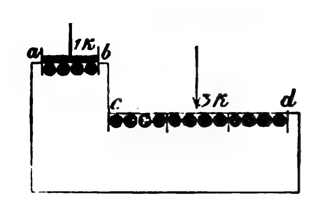
Показанное нами свойство воды называется въ Физикѣ закономъ *равнаго давленія* или закономъ *Паскаля*, по имени этого французскаго ученаго, открывшаго законъ равнаго давленія.

Фиг. 420.



На основаніи этого закона части сосуда *ef*, *gh*, *cd* (фиг. 420), имѣющія равное протяженіе съ поверхностію поршня *ab*, должны претерпѣвать въ отдѣльности одинаковое давленіе со слоемъ жидкости *ab*, прикасающимся къ поршню *k*. Предположимъ, что части эти расположены на одной линіи *cd* (фиг. 421); отъ давленія поршня *k*, прикасающагося къ четыремъ частицамъ, линія эта *cd* будетъ претерпѣвать давленіе 12 частицъ. Очевидно, что для удержанія равновѣсія въ этомъ случаѣ, мы должны приложить къ *cd*, съ противоположной стороны, силу въ 3 раза большую противу силы, давящей на поршень *k*. Это значитъ, что величина давленія, происходящая отъ дѣйствія какой либо силы на поверхность жидкости, зависитъ отъ величины поверхности, принимающей давленіе, которое поэтому можетъ быть увеличено по произволу.

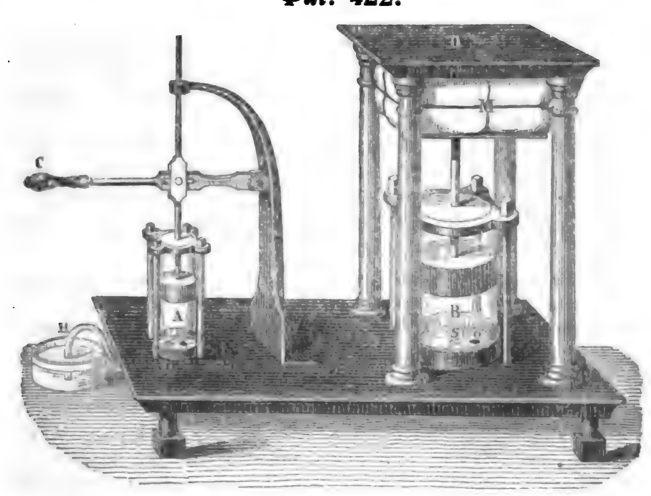
Фиг. 421.



Если сила вдавливаемаго поршня равна 100 фунтамъ, а величина его поверхности равна 1 квадратному дюйму, то давленіе производимое жидкостію на стѣны сосуда въ 60 квадратныхъ дюймовъ, будетъ простираться до 60×100 или 6000 фунтовъ.

На этомъ равномѣрномъ распространеніи давленія въ жидкостяхъ основано устройство *гидравлическаго пресса*, изобрѣтеннаго Паскалемъ около 1650 г. и усовершенствованнаго въ Лондонѣ въ 1796 году Брама, который первый приспособилъ этотъ приборъ къ практическому употребленію для фабрикъ и заводовъ. На фиг. 422-й представлена модель гидравлическаго пресса, употреб- Гидравлическій прессъ.

Фиг. 422.



ляемая собственно для нагляднаго изученія. Приборъ этотъ, назначаемый для произведенія огромныхъ давленій, состоитъ изъ двухъ сообщающихся между собою цилиндровъ *A* и *B*, изъ которыхъ одинъ меньшаго, а другой большаго діаметра. Въ первомъ цилиндрѣ находится поршень, двигающійся посредствомъ рычага. Цилиндръ этотъ наполняется водою изъ резервуара *H*, сообщающагося съ нимъ посредствомъ трубки, отверстіе которой можетъ быть запираемо и отпираемо клапаномъ, утвержденнымъ на днѣ цилиндра. Впослѣдствіи мы объяснимъ, на чемъ основывается наполненіе водою сосуда *A*, теперь же скажемъ только, что оно происходитъ при поднятіи поршня. При опусканіи того же самаго поршня, клапанъ на днѣ цилиндра запираетъ отверстіе трубки, сообщающей цилиндръ съ резервуаромъ *H*. Надавливаемая поршнемъ вода, находя открытымъ одно только отверстіе трубки, сообщающей оба цилиндра и представленной на нашемъ чертежѣ точками, устремляется по этой трубкѣ до самаго отверстія *S*, прикрытаго клапаномъ, отворяющимся кверху. Клапанъ этотъ поднимается всякій разъ, когда новое количество воды, надавливаемой поршнемъ, устремляется изъ цилиндра *A* въ *B*; но онъ опадаетъ вслѣдствіе собственнаго своего вѣса, при каждомъ поднятіи поршня въ *A*, т. е. когда на клапанъ не производится давленія снизу.

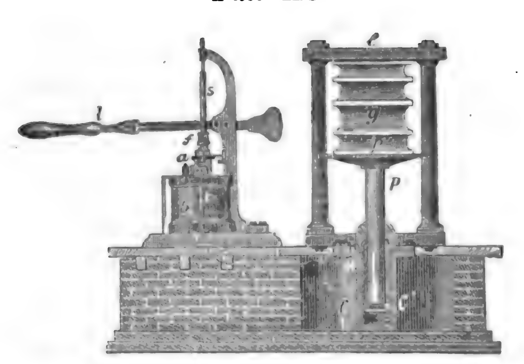
Въ цилиндрѣ *B* находится клапанъ, назначенный для передачи давленій. Съ этою цѣлію стержень его снабженъ чугунной доской, на которую кладутъ тѣла, назначаемыя для сильнаго сжатія. Отверстіе же *O* назначается собственно для выпусканія воды изъ цилиндра *B* въ томъ случаѣ, когда желаютъ пріостановить сдавливаніе, что достигается собственно при помощи винта, устроеннаго подъ доской, на которой утверждены цилиндры.

Вслѣдствіе закона Паскаля, давленіе, производимое въ цилиндрѣ *A* небольшимъ поршнемъ сверху внизъ, передается снизу вверхъ основанію поршня, находящагося въ цилиндрѣ *B*, съ силою пропорціональною поверхности этого основанія. Это значитъ, что если поверхность эта въ 10 или въ 20 разъ болѣе поверхности основанія поршня цилиндра *A*, то давленіе, переданное въ *B*, будетъ въ 10 или 20 разъ болѣе того давленія, которое сообщается водѣ посредствомъ поршня соединеннаго съ рычагомъ. Отъ поршня въ цилиндрѣ *B* давленіе распространяется съ помощію стержня тѣлу *M*, которое вслѣдствіе того сдавливается между подвижною доскою и неподвижной крышкой *D*.

Таковы основанія гидравлическаго пресса; но не должно упускать изъ виду, что и при этомъ приборѣ, какъ и при каждой машинѣ, всякой выигрышъ въ силѣ сопровождается потерею въ скорости. Положимъ, что діаметръ большаго поршня равенъ 20, а меньшаго 1 сантиметру; слѣдовательно поверхности нижнихъ основаній ихъ будутъ относиться между собою какъ квадраты діаметровъ или какъ 400 къ 1. Значитъ, если сообщить меньшему поршню усиліе въ 500 килограммовъ, то основаніе большаго поршня получитъ снизу вверхъ давленіе равное 200,000 килограммамъ. Но при этомъ не должно упускать изъ виду, что когда меньшій поршень опустится, напр. на 4 дециметра, количество воды устремляемое имъ къ основанію большаго поршня, можетъ поднять его только на $^1/_{400}$ четырехъ дециметровъ или на одинъ миллиметръ. Поэтому, желая поднять большій поршень на 1 метръ, намъ должно опустить меньшій поршень 1000 или 2000 разъ, если онъ опускается каждый разъ только на 2 дециметра. Вотъ почему при употребленіи самой машины даютъ отношенію поршней такіе размѣры, которые позволяютъ производить давленіе обыкновенно не свыше 50,000 киллограммовъ.

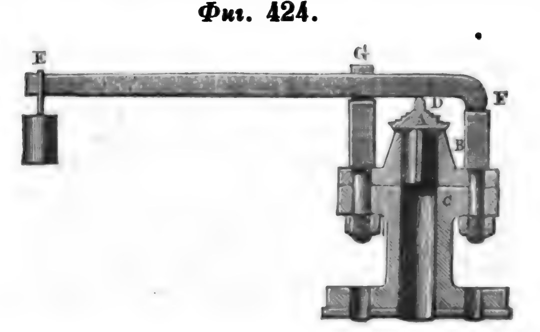
Приборъ, представленный на фигурѣ 422-й, употребляется, какъ мы сказали, для нагляднаго изученія и потому цилиндры, въ которыхъ двигаются поршни, сдѣланы въ нихъ изъ стекла, позволяющаго разсматривать поднятіе и опусканіе воды и другія явленія обнаруживаемыя имъ. Но въ промышленности, гдѣ требуется производить иногда огромныя давленія, цилиндры должны обладать большою плотностію и потому ихъ дѣлаютъ обыкновенно изъ чугуна. Точно также увеличиваютъ самое отношеніе между поверхностями основаній обоихъ цилиндровъ, потому что отъ этого обстоятельства зависитъ самая сила машины. Главнѣйшее устройство гидравлическаго пресса, употребляемаго на фабрикахъ и заводахъ, представлено на фигурѣ 423-й, въ уменьшенномъ видѣ.

Фиг. 423.



Съ помощію рычага *l* опускаютъ небольшой поршень *s*, двигающійся въ цилиндрѣ *b*, и производятъ такимъ образомъ давленіе на находящуюся подъ нимъ воду. Послѣдняя проходитъ черезъ трубку *t* въ цилиндръ *CC* и передаетъ сообщенное ей давленіе съ силою пропорціональною давленію его. Здѣсь должно замѣтить, что часть силы, приложенной къ рычагу *l*, теряется на преодолѣніе сопротивленій представляемыхъ треніемъ, и эта потеря происходитъ прежде передачи поршню *p* силы сообщенной рычагу. Поэтому дѣйствіе, получаемое посредствомъ пресса, всегда бываетъ менѣе того, котораго бы должно ожидать на основаніи приведенныхъ нами выше вычисленій. Величина силы, въ дѣйствительности передаваемой поршню *p* измѣряется клапаномъ *A* (фиг. 424). Зная вѣсъ гири *E*, длину плечъ *EG* и *GF* рычага и величину нижней поверхности клапана *A*, подверженной давленію воды, легко вычислить величину давленія, претерпѣваемаго клапаномъ въ тотъ моментъ, когда онъ поднимаетъ рычагъ. Клапанъ *A* называется *предохранительнымъ*.

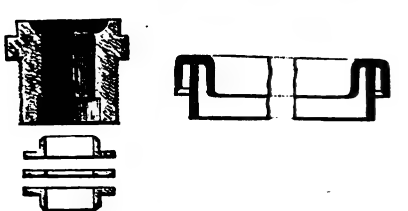
Фиг. 424.



Вѣсъ гири, привѣшенной къ рычагу, разсчитываютъ такимъ образомъ, чтобы клапанъ отворялся въ то время, когда давленіе достигаетъ предѣла, за которымъ могутъ происходить различныя поврежденія въ частяхъ машины.

Намъ остается здѣсь упомянуть еще о средствахъ употребляемыхъ для воспрепятствованія выхода воды изъ сосуда. Для этого употребляютъ поршень *s* съ особенною тщательностію, посредствомъ отдѣльныхъ частей, представленныхъ на фиг. 425-й. Но главнѣйшее затрудненіе представляетъ поршень *p*, и это затрудненіе устранено *Брамою*, при помощи весьма остроумнаго устройства. Загнутая кожа, которой видъ изображенъ на фиг. 426-й, помѣщается въ кольцеобразномъ углубленіи. Чѣмъ болѣе увеличивается давленіе, тѣмъ сильнѣе прижимается кожа къ поршню *p* и къ стѣнкѣ углубленія, и тѣмъ очевидно съ большею силою запирается послѣднее.

Фиг. 425. *Фиг.* 426.



Гидравлическимъ прессомъ пользуются при всѣхъ работахъ требующихъ сильныхъ давленій. Его употребляютъ для валянія сукна, для извлеченія сока изъ свекловицы, для выдавливанія масла изъ различныхъ растительныхъ зеренъ; онъ служитъ также при испытаніи артиллерійскихъ орудій, паровыхъ котловъ и цѣпей, употребляемыхъ при мореплаваніи.

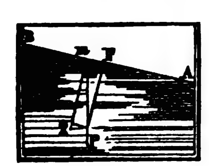
§ 142. Второе свойство, проистекающее изъ легкой подвижности частицъ жидкости заключается въ томъ, что равновѣсіе ея возможно только тогда: Условія равновѣсія жидкостей.

a) *Когда свободная поверхность жидкости въ каждой точкѣ перпендикулярна къ направленію силъ, дѣйствующихъ на частицы жидкости*, и

b) *Когда давленія, претерпѣваемыя каждою отдѣльною частицею взаимно уничтожаются другъ другомъ.*

Для доказательства перваго изъ этихъ условій положимъ, что сила дѣйствуетъ на частицу *m* (фиг. 427) въ направленіи *mP* косвенномъ къ свободной поверхности жидкости *AB*. Эта сила можетъ быть разложена на двѣ составляющія: одну *mF*. направленіе которой сливается съ направленіемъ поверхности, и другую *mQ*, перпендикулярную къ послѣдней. Составляющая *mQ* будетъ уничтожена сопротивленіемъ, представляемымъ жидкостію, другая же составляющая *mF*, не встрѣчая противодѣйствія, должна произвести по направленію своего дѣйствія движеніе частицы *m*, которая по легкой своей подвижности во всѣ стороны, не въ состояніи будетъ противиться этому вліянію силы. Подобное движеніе произойдетъ очевидно и при всякомъ наклонномъ положеніи силы *mP*, т. е. до тѣхъ поръ, пока направленіе ея не будетъ перпендикулярно къ свободной поверхности жидкости. Понятно, что при послѣднемъ положеніи вся сила *mP* будетъ уничтожаться сопротивленіемъ жидкости и не будетъ никакой причины къ наруше-

Фиг. 427.



нію равновѣсія. Тоже самое разсужденіе можетъ быть примѣнено и ко всѣмъ другимъ частицамъ поверхности жидкости.

Что же касается до втораго условія, то оно очевидно само по себѣ, потому что если бы давленія производимыя на одну и туже частицу съ двухъ противоположныхъ направленій не были равны между собою, то частица была бы увлечена въ сторону большаго давленія и слѣдовательно въ такомъ случаѣ нарушилось бы равновѣсіе жидкости.

Силы, на которыя должно обращать вниманіе при опредѣленіи законовъ равновѣсія жидкостей, суть *тяжесть* и *частичныя силы*, какъ тѣ, которыя дѣйствуютъ между собственными частицами жидкости, такъ и тѣ, которыя обнаруживаются во время прикосновенія твердыхъ тѣлъ къ жидкостямъ. Дѣйствіе частичныхъ силъ играетъ важную роль при волосныхъ явленіяхъ, т. е. при поднятіи и опусканіи жидкостей въ трубкахъ очень узкаго діаметра. Въ обыкновенныхъ же случаяхъ, при разсмотрѣніи жидкостей въ сосудахъ или въ трубкахъ большаго діаметра, мы оставляемъ безъ вниманія частичное притяженіе и смотримъ на жидкости какъ на скопленіе трудно сжимаемыхъ и легко подвижныхъ частицъ, подверженныхъ только дѣйствію тяжести. Мы разсмотримъ предварительно явленія, обнаруживаемыя жидкостями въ состояніи равновѣсія, вслѣдствіе трудной сжимаемости, легкой подвижности частицъ и дѣйствія тяжести.

Вліяніе тяж. на равновѣсіе жидкихъ тѣлъ.

§ 143. Разсматривая *равновѣсіе жидкостей въ сосудахъ подъ вліяніемъ дѣйствія тяжести*, мы приходимъ къ слѣдующимъ результатамъ:

1) Сила тяжести, дѣйствуя на массу воды, заставляетъ каждую легко подвижную частицу ея, производить движеніе къ центру земли, для воспрепятствованія которому необходимо ограничивать снизу пространство занимаемое всякою жидкостію. Но какъ въ тоже самое время давленіе это по легкой подвижности частицъ передается и въ стороны, то для сохраненія равновѣсія жидкостей необходимо противопоставить ей преграды также и съ боковъ. Вотъ почему жидкости не имѣютъ самостоятельнаго вида и сохраняютъ обыкновенно форму тѣхъ сосудовъ, въ которыхъ онѣ заключены.

2) Какъ жидкость можетъ быть въ равновѣсіи только тогда, когда свободная поверхность ея въ каждой точкѣ перпендикулярна къ направленію силъ дѣйствующихъ на частицы жидкости, то для равновѣсія послѣдней въ сосудѣ необходимо, чтобы поверхность ея была перпендикулярна къ отвѣснымъ направленіямъ тяжести, дѣйствующей на каждую частицу. Но при этомъ могутъ встрѣтиться два главные случая. Если мы возмемъ небольшой сосудъ, слѣдовательно незначительную поверхность жидкости, то отвѣсныя направленія тяжести можно принимать за параллельныя между собою; въ такомъ случаѣ свободная поверхность жидкости, перпендикулярная ко всѣмъ этимъ направленіямъ, должна казаться *горизонтальною*.

Если же поверхность жидкости занимаетъ значительное протяженіе, какъ напр. въ ложбинахъ озеръ и морей, то и дѣйствіе тяжести на всѣ точки ея, мы не можемъ принимать уже за параллельныя. Какъ при этомъ всѣ точки свободной поверхности должны быть перпендикулярны къ направленіямъ тяжести, притягивающимъ частицы жидкости къ средоточію земли, слѣдовательно по направленію болѣе или менѣе удаленныхъ между собою земныхъ радіусовъ, то очевидно, что условіе это можетъ быть тогда исполнено, когда поверхность жидкости будетъ представлять такую же шарообразность, какъ и самая земля, потому что всѣ радіусы могутъ быть перпендикулярны только къ шаровой поверхности.

3) Каждая частица жидкости, вслѣдствіе своей тяжести оказываетъ давленіе на лежащую подъ нею частицу, которая передаетъ это давленіе во всѣ стороны и сверхъ того давитъ собственнымъ своимъ вѣсомъ на ниже лежащую частицу. Вслѣдствіе того, при состояніи равновѣсія жидкости происходитъ:

a) Каждая частица жидкости, напр. *a* (фиг. 428), претерпѣваетъ давленіе равное вѣсу столба жидкости *ad*, лежащей надъ нею отвѣсно.

Фиг. 428.

b) Всѣ частицы, какъ напр. *a*, *b*, лежащія на одинаковой глубинѣ подъ поверхностію *nv* и слѣдовательно лежащія въ одной плоскости *mp*, параллельной къ *nv*, претерпѣваютъ равное давленіе; отъ этого стремленіе каждой частицы уклонится въ сторону вслѣдствіе производимаго на нее сверху, уничтожается равнымъ и противоположнымъ стремленіемъ всѣхъ окружающихъ ее частицъ.

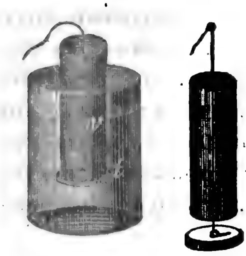
c) Какъ каждая частица, напр. *a*, стремится передать во всѣ стороны боковое давленіе, претерпѣваемое ею отъ сосѣднихъ частицъ, то она передаетъ также и по отвѣсному направленію кверху это давленіе, которое удерживаетъ въ равновѣсіи давленіе претерпѣваемое ею сверху. Поэтому каждая частица жидкости, вслѣдствіе тяжести претерпѣваетъ равныя давленія со всѣхъ сторонъ.

d) Давленіе это увеличивается вмѣстѣ съ увеличеніемъ разстоянія частицъ отъ поверхности жидкости, т. е. съ глубиною ихъ; слѣдовательно, если мы предположимъ, что жидкость несжимаема и имѣетъ одинаковую плотность, то при удвоеніи, утроеніи и т. д. глубины, мы получимъ удвоенное и утроенное давленіе, потому что вѣсъ столбовъ, производящихъ давленіе, увеличивается въ прямомъ отношеніи вмѣстѣ съ высотою.

e) Изъ сказаннаго нами слѣдуетъ, что всякой слой, взятый нами внутри жидкости, въ каждой точкѣ своей претерпѣваетъ съ двухъ противоположныхъ сторонъ равныя давленія. Если слой этотъ горизонталенъ, какъ напр. *ab*, то онъ долженъ выносить вѣсъ лежащаго надъ нимъ отвѣснаго столба *adcb*, вмѣстѣ съ давленіемъ равнымъ этому вѣсу и дѣйствующимъ на него снизу вверхъ.

Чтобы убѣдиться на опытѣ въ справедливости этого послѣдняго вывода, стоитъ только взять широкую стеклянную трубку *v* (фиг. 429), отшлифованную снизу, и прикрыть ее плотно легкой пластинкой *t*, которая можетъ быть удерживаема въ такомъ положеніи посредствомъ привязанной къ ней нити. Опустивши въ воду закрытую такимъ образомъ трубку, мы увидимъ, что пластинка *t* будетъ удерживаться давленіемъ воды снизу, даже и въ томъ случаѣ, когда нитка выпустится изъ рукъ. Если послѣ того налить въ трубку воды, то пластинка упадетъ книзу въ то самое время, когда вода достигнетъ въ трубкѣ одного уровня съ остальною жидкостію во всемъ сосудѣ.

Фиг. 429.



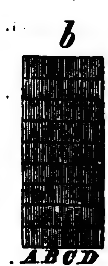
Здѣсь должно замѣтить, что вслѣдствіе незначительнаго сжатія жидкости, мы можемъ принимать для незначительной глубины плотность жидкости во всѣхъ слояхъ равною и должны допускать увеличеніе плотности съ глубиною только для весьма значительной глубины. Въ этомъ случаѣ давленіе возрастаетъ уже не равномѣрно съ глубиною.

f) Какъ слой, взятый внутри жидкости, претерпѣваетъ давленіе, зависящее отъ глубины, на которой онъ расположенъ подъ поверхностію, то очевидно, что давленіе это не зависитъ отъ формы сосудовъ заключающихъ ихъ.

Давленіе жидкости на дно сосуда. § 144. Всякая жидкость, находящаяся въ равновѣсіи въ сосудѣ, производитъ отъ дѣйствія тяжести давленіе, которое по закону Паскаля распространяется какъ на дно, такъ и на стѣнки сосуда. Опредѣлимъ сперва давленіе, претерпѣваемое *дномъ* сосуда.

Возмемъ сосудъ *b* (фиг. 430) съ отвѣсными стѣнками, по длинѣ которыхъ расположено 9 водяныхъ частицъ; очевидно, что давленіе, претерпѣваемое въ этомъ случаѣ *дномъ* сосуда, будетъ равно вѣсу водяного столба, имѣющаго основаніемъ дно сосуда, а высотою разстояніе послѣдняго отъ уровня воды. Если означить чрезъ *v* объемъ, а чрезъ *b* дно сосуда, чрезъ *h* разстояніе дна отъ поверхности и чрезъ *s* удѣльный вѣсъ жидкости, то давленіе на дно *P* будетъ равно vs, $v = bh$, а слѣдовательно $P = bhs$. т. е. давленіе на дно въ цилиндрическомъ или призматическомъ сосудѣ, имѣющемъ отвѣсныя стѣны, равно величинѣ дна помноженной на высоту и на удѣльный вѣсъ жидкости.

Фиг. 430.

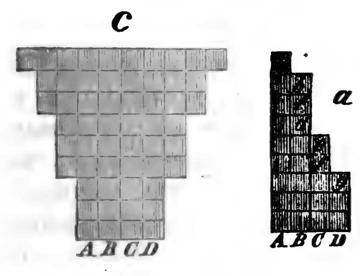


Какъ мы назвали чрезъ *b* величину основанія, то давленіе на каждую единицу поверхности дна будетъ равно *hs*.

Это отвѣсное давленіе воды на дно сосудовъ нисколько не зависитъ отъ формы ихъ, а слѣдовательно и отъ самаго количества заключенной въ нихъ воды, лишь бы только дно сосудовъ и высота водянаго уровня оставались одни и тѣже.

И въ самомъ дѣлѣ (фиг. 431), пусть *c* и *a* будутъ два сосуда, которые при одинаковомъ днѣ и одной высотѣ уровня заключаютъ различныя количества воды. Предположимъ, что водяной столбъ *D* въ сосудѣ *g* состоитъ также изъ 9 частицъ одинаковой величины и тяжести. Совокупное давленіе, производимое ими на дно сосуда, будетъ одинаково съ давленіемъ столба C, заключающимъ въ себѣ только 8 такихъ частицъ, потому что частица *a*, по закону *равнаго давленія*, давитъ одинаково какъ на лежащую подъ нею частицу, такъ и на сосѣднюю частицу *b*, которая вслѣдствіе того давитъ на остальныя 7 частицъ уже съ силою равною тяжести двухъ частицъ. Примѣняя тоже разсужденіе къ водяному столбу *B* и *A*, мы увидимъ, что дно сосуда *g* будетъ претерпѣвать отъ каждаго изъ нихъ одинаковое давленіе. Слѣдовательно общее давленіе на дно будетъ одно и тоже какъ и на дно сосуда представленнаго на фиг. 431-й съ лѣвой стороны.

Фиг. 431.

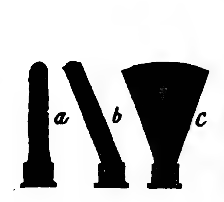


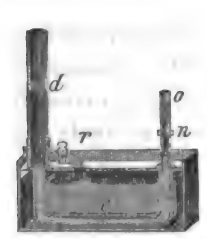
Хотя сосудъ *c* заключаетъ въ себѣ болѣе воды противу предъидущаго сосуда, но давленіе претерпѣваемое дномъ его, будетъ одно и тоже, потому что въ этомъ случаѣ давленіе остальныхъ частицъ жидкости, выходящихъ за предѣлы отвѣснаго столба давящаго на дно, выносятъ боковыя стѣны сосуда *c*.

Слѣдовательно, для одного и того же дна, при одной и той же высотѣ уровня, все равно большее или меньшее количество воды находится въ сосудѣ.

Но чтобы болѣе удостовѣриться въ справедливости этого, повидимому невѣроятнаго закона, стоитъ только наполнить изогнутую желѣзную трубку *e* (фиг. 432) ртутью и замѣтить посредствомъ подвижной марки *n* высоту ея въ колѣнѣ *o*. Привинчивая къ колѣну *f*, одинъ за другимъ, сосуды *d*, *a*, *b* и *c*, имѣющіе одинаковое дно, и наливая ихъ до одной и той же высоты водою, которая можетъ быть выпускаема въ каждомъ изъ нихъ посредствомъ крана *r*, мы увидимъ, что высота ртути въ колѣнѣ *o*, зависящая отъ давленія воды въ сосудахъ на поверхность ртути, будетъ постоянно подниматься до одной и той же точки.

Фиг. 432.





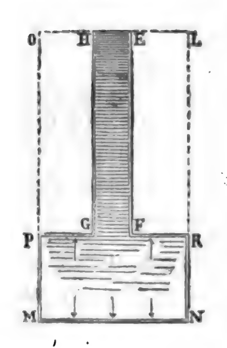
Помня это и зная чему равно давленіе на дно въ отвѣсномъ сосудѣ, мы можемъ вывести заключеніе, что давленіе, претерпѣваемое

дномъ всякаго сосуда, равно вѣсу водянаго столба, имѣющаго основаніемъ самое дно, а высотою разстояніе послѣдняго отъ уровня воды.

Мы доказали, что давленіе на дно сосуда наполненнаго жидкостію, не зависитъ ни отъ формы сосуда, ни отъ количества жидкости, но только отъ высоты жидкости надъ дномъ. Не должно смѣшивать давленія производимаго жидкостію на дно съ тѣмъ давленіемъ, которое оказываетъ самъ сосудъ на тѣло, служащее ему подпорой. Это послѣднее давленіе всегда равно вѣсу сосуда и заключающейся въ немъ жидкости; между тѣмъ какъ первое, судя по формѣ сосуда, можетъ быть болѣе, менѣе и наконецъ равно этому вѣсу. Явленіе это обыкновенно называютъ *гидростатическимъ парадоксомъ*, потому что съ перваго взгляда оно кажется невѣроятнымъ.

Чтобы объяснить себѣ это явленіе представимъ, что *HGPMNRFE* (фиг. 433) представляетъ вертикальный разрѣзъ наполненнаго водою сосуда, который составленъ изъ двухъ цилиндрическихъ частей различныхъ діаметровъ. Какъ горизонтальныя давленія на всѣмъ продолженіи стѣнокъ удерживаютъ другъ друга въ равновѣсіи, то мы не будемъ принимать ихъ во вниманіе. Что же касается до отвѣснаго давленія на дно *MN*, то оно равно вѣсу столба жидкости, имѣющаго основаніемъ это дно, а высотою линіи *OM*; т. е. давленіе это одинаково какъ и въ томъ случаѣ, когда бы сосудъ имѣлъ разрѣзъ *MNOL* и былъ бы весь наполненъ водою.

Фиг. 433.



Надобно доказать, что это давленіе не передается въ цѣлости тѣлу поддерживающему сосудъ. И въ самомъ дѣлѣ, по закону Паскаля столбъ жидкости *HEFG* оказываетъ на кольцеобразную стѣнку, разрѣзъ которой означенъ буквами *PGFR*, давленіе снизу вверхъ, равное вѣсу водянаго столба, имѣющаго въ основаніи эту стѣнку, а высотою линію *GH*, т. е. вѣсу воды, которая могла бы наполнить пространство *OPGHEFRL*. Поэтому дѣйствительное давленіе, оказываемое жидкостію на подставу, поддерживающую сосудъ, равно вѣсу того объема воды, который бы наполнилъ пространство *OMNL* безъ вѣса воды, могущаго помѣститься въ пространствѣ *OPGHEFRL*, т. е. равно вѣсу воды заключающемуся въ данномъ сосудѣ.

Если сосудъ имѣетъ на всемъ протяженіи одинаковый діаметръ, то жидкость оказываетъ одинаковое давленіе какъ на дно, такъ и на подставу сосуда; если при вершинѣ діаметръ болѣе, нежели у основанія, то давленіе на дно менѣе, нежели на подставу.

Изъ сказаннаго нами на счетъ давленія претерпѣваемаго днами сосудовъ слѣдуетъ, что если въ сосудъ (фиг. 434*a*), вмѣщающій 20 частицъ воды, вложить тонкую и высокую трубку *B* и вливать въ послѣднюю понемногу воды, то съ каждою новою частицею ея будетъ увеличиваться высота уровня въ сосудѣ, а слѣдовательно и величина самого давленія на дно *ab*. Изъ чертежа видно, что если влить въ трубку 4 новыя частицы, то давленіе на дно увеличится вдвое, при 8-ми новыхъ частицахъ оно будетъ въ три раза больше и т. д. Это показываетъ намъ, что съ помощію небольшаго количества воды, можно произвести весьма сильное давленіе, если только заключить ее въ узкую и высокую трубку, имѣющую уширенное дно.

Фиг. 434a.

12.5=60

8.5=40

4.5=20

На этомъ свойствѣ основано устройство пресса, изобрѣтеннаго графомъ Реалемъ. Прессъ этотъ употребляется для извлеченія экстрактовъ изъ веществъ, растворяющихся въ водѣ, въ винномъ спиртѣ или въ другой какой либо жидкости. Онъ состоитъ (фиг. 434*b*) изъ стекляннаго или цинковаго сосуда *ab* цилиндрической формы съ крѣпкими стѣнами, внутри которыхъ находятся двѣ пластинки *e* на подобіе рѣшетъ. По наполненіи цилиндра какимъ нибудь растворяющимся веществомъ, какъ напр. водою или спиртомъ, вкладываютъ выжимаемое тѣло между обѣими пластинками и привинчиваютъ къ цилиндру покрышку *f*, изъ средины которой выходитъ кверху узкая и высокая трубка *r*, снабженная винтомъ *l*. Если по открытіи послѣдняго винта налить въ трубку воды, то небольшое количество ея произведетъ сильное давленіе какъ на растворяющее, такъ и на выжимаемое вещество и извлечетъ изъ послѣдняго сильный экстрактъ, который можетъ быть спущенъ посредствомъ винта изъ воронки *cbd*.

Фиг. 434b.

Одна изъ главныхъ выгодъ этого пресса заключается въ томъ, что при немъ можно растворять различныя вещества, какъ напр. коренья и травы, въ холодной водѣ, которая не дѣйствуетъ такъ злокачественно на вкусъ и цвѣтъ ихъ, какъ нагрѣтая вода. — Онъ приноситъ большую пользу въ аптекахъ, въ химическихъ лабораторіяхъ и вообще при многихъ фабричныхъ производствахъ.

Фиг. 435.



Давленіе обнаруживаемое высокимъ водянымъ столбомъ, можетъ быть иногда приспособлено къ разрыву горы. Такъ напримѣръ, если въ горѣ заключается узкая щель (фиг. 435), ведущая отъ вершины до резервуара, который находится на глубинѣ 200 футовъ отъ вершины, то по наполненіи этой щели дождевою водою, каждый футъ воды резервуара усилится до такой степени, что при продолжительномъ своемъ дѣйствіи можетъ даже побѣдить связь между частицами горы.

§ 145. Разсмотримъ теперь давленіе претерпѣваемое *боками сосудовъ*. Въ существованіи этого давленія мы можемъ убѣдиться наливши воду въ сосудъ, имѣющій въ боковыхъ стѣнахъ нѣсколько замкнутыхъ отверстій. Если отворить послѣднія, то вода польется тотчасъ наружу, что конечно происходитъ вслѣдствіе производимаго ею боковаго давленія. Давленіе жидкости на бока сосудовъ.

Опредѣленіе боковаго давленія выводится изъ соотвѣтственнаго горизонтальнаго давленія, на основаніи закона равномѣрнаго распространенія давленія во всѣ стороны. Точка *m* (фиг. 436) прикасающаяся къ стѣнкѣ принадлежитъ горизонтальному слою *mp*; давленіе, выносимое этимъ слоемъ, распространяется равномѣрно по всѣмъ направленіямъ, слѣдовательно и перпендикулярно къ стѣнкѣ сосуда. Поэтому каждая точка боковой стѣнки претерпѣваетъ тоже самое давленіе, которое выноситъ каждый пунктъ слоя жидкости, лежащій на одной высотѣ съ разсматриваемою точкою боковой стѣнки. Возмемъ теперь на боковой стѣнкѣ часть боковой поверхности, высшая точка которой такъ незначительно удалена отъ низшей, что давленія, претерпѣваемыя обѣими этими точками, могутъ быть приняты безъ чувствительной погрѣшности за равныя. Въ такомъ случаѣ давленіе *P*, выносимое этой поверхностію, будетъ равно $b \times h \times s$, гдѣ подъ *s* разумѣется удѣльный вѣсъ, подъ *b* величина поверхности выносящей давленіе, а подъ *h* отвѣсная высота свободной поверхности жидкости надъ поверхностію *b*.

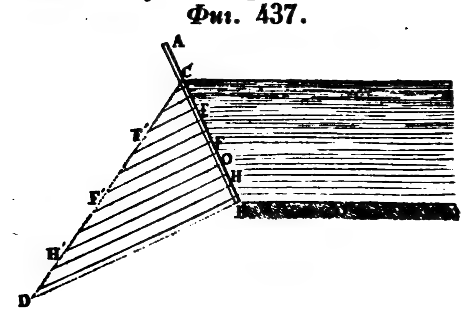
Фиг. 436.

Если мы желаемъ опредѣлить давленіе, выносимое какою нибудь поверхностію стѣнокъ, къ которой прикасается жидкость, то должно раздѣлить эту поверхность на весьма малыя части, опредѣлить давленіе оказываемое жидкостію на каждую изъ этихъ частей и потомъ сложить всѣ полученныя такимъ образомъ давленія.

Если разсматриваемая поверхность стѣнокъ представляетъ плоскость, то всѣ давленія, выносимыя этими различными частями, будутъ имѣть параллельныя между собою направленія и слѣдовательно всѣ эти давленія будутъ имѣть равнодѣйствующую равную ихъ суммѣ. Если мы знаемъ положеніе центра тяжести разсматриваемой нами поверхности стѣнокъ, то равнодѣйствующая всѣхъ давленій будетъ равна вѣсу столба жидкости, имѣющаго основаніемъ эту поверхность, а высотою отвѣсное разстояніе центра тяжести отъ свободной поверхности жидкости. Что же касается до точки приложенія этой равнодѣйствующей, точки называемой *центромъ давленія*, то она не совпадаетъ съ центромъ тяжести разсматриваемой поверхности стѣнокъ, но всегда находится ниже послѣдняго.

Мы не будемъ приводить здѣсь строгихъ выводовъ, относящихся къ опредѣленію боковаго давленія и принадлежащихъ собственно къ курсамъ механики, а ограничимся только развитіемъ изложеннаго нами разсужденія на частномъ примѣрѣ. Положимъ, что *AB* (фиг. 437) представляетъ разрѣзъ плоской, наклонной стѣнки, на которую опирается масса воды находящейся въ равновѣсіи. До-

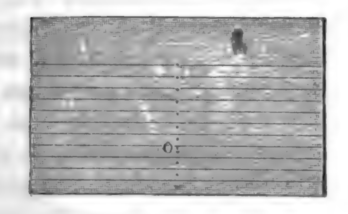
Фиг. 437.



пустимъ, что эта стѣнка имѣетъ форму прямоугольника, верхняя и нижняя стороны котораго горизонтальны.

Чтобы вычислить давленіе, производимое на весь этотъ прямоугольникъ, мы раздѣлимъ его мысленно на множество малыхъ и равныхъ между собою горизонтальныхъ полосъ (фиг. 438), изъ которыхъ каждая, посредствомъ проведенія въ равномъ разстояніи линій перпендикулярныхъ къ длинѣ полосокъ, раздѣлена въ свою очередь на множество мелкихъ прямоугольниковъ (фиг. 439). —

Фиг. 438. *Фиг:* 439.



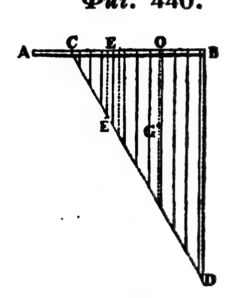
Давленіе, выносимое каждымъ изъ этихъ небольшихъ прямоугольниковъ, будетъ равно вѣсу столба воды, имѣющаго основаніемъ самый прямоугольникъ, а высотою отвѣсное разстояніе одной изъ ея точекъ отъ свободной поверхности жидкости. Какъ всѣ прямоугольники, на которые мы раздѣлили каждую горизонтальную полоску, находятся въ равномъ удаленіи отъ свободной поверхности жидкости, то очевидно, что и всѣ давленія, выносимыя ими, будутъ равны между собою. Равнодѣйствующая этихъ давленій, полученная отъ сложенія ихъ, будетъ равна вѣсу водянаго столба, имѣющаго основаніемъ цѣлую горизонтальную полоску, а высотою отвѣсное разстояніе какой либо точки ея отъ поверхности жидкости. Точка приложенія этой равнодѣйствующей будетъ очевидно находиться посрединѣ полоски, въ томъ мѣстѣ, гдѣ пересѣкаются діагонали ея.

Всѣ равнодѣйствующія давленія соотвѣтствующія различнымъ полоскамъ, на которыя мы разложили цѣлую стѣнку, могутъ быть выражены прямыми линіями EE', FF', HH' (фиг. 437), проведенными перпендикулярно къ этой стѣнкѣ. Эти прямыя линіи, проведенныя чрезъ центры полосокъ, будутъ имѣть длины пропорціональныя соотвѣтствующимъ имъ силамъ и слѣдовательно пропорціональныя также отвѣснымъ разстояніямъ этихъ центровъ отъ свободной поверхности жидкости или наконецъ разстояніямъ ихъ отъ точки C. Поэтому оконечности этихъ линій E', F', H' расположены всѣ на одной прямой линіи CD, проходящей чрезъ точку C, въ которой прикасается къ стѣнкѣ верхняя точка жидкости.

Теперь остается только опредѣлить равнодѣйствующую всѣхъ параллельныхъ силъ, выражаемыхъ этими линіями. Для этого поло-

жимъ, что стѣнка лежитъ горизонтально, какъ показываетъ фиг. 440, следовательно линіи, выражающія силы приложенныя къ центрамъ различныхъ полосокъ, на которыя мы раздѣлили стѣнку, будутъ отвѣсны. Мы можемъ представить, что вмѣсто этихъ линій привѣшены къ стѣнкѣ AB равныя имъ по длинѣ вѣсомые бруски, изъ которыхъ вѣсъ каждаго долженъ соотвѣтствовать силѣ, замѣняемой имъ. Поэтому вся стѣнка AB будетъ обременена брусками точно также, какъ прежде она была обременена давленіемъ жидкости въ различныхъ точкахъ. Если эти бруски имѣютъ однообразную ширину, позволяющую имъ быть въ прикосновеніи другъ съ другомъ, то мы найдемъ, что цѣлое давленіе, выносимое стѣнкою AB, есть ни что иное, какъ вѣсъ треугольника BCD. А какъ этотъ вѣсъ есть отвѣсная сила, приложенная къ центру тяжести G треугольника, то очевидно, что окончательная равнодѣйствующая давленій, производимыхъ водою на различныя точки стѣнки AB, проходитъ чрезъ точку O, расположенную отвѣсно надъ центромъ тяжести G, чрезъ точку, которой разстояніе отъ B равно $\frac{1}{3}$ линіи CB. Слѣдовательно центръ давленій, для разсматриваемой нами прямоугольной стѣнки AB (фиг. 437), находится на линіи проходящей чрезъ средину горизонтальныхъ сторонъ прямоугольника, выносящаго давленіе жидкости, на одной трети этой линіи, начиная отъ основанія. Центръ же тяжести прямоугольника, выносящаго давленіе воды, будетъ посрединѣ этой линіи.

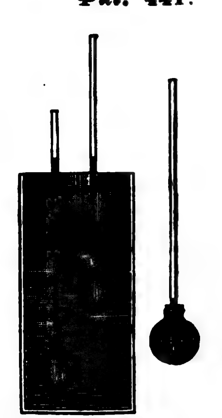
Фиг. 440.



Изъ разсмотрѣннаго нами понятно, что протяженіе свободной поверхности жидкости, не оказываетъ никакого вліянія на величину боковой поверхности. Поэтому невысокій берегъ моря, находящагося въ спокойномъ состояніи, будетъ претерпѣвать такое же самое давленіе, какъ и боковая стѣна канала, имѣющаго свободную поверхность воды на одинаковой высотѣ съ моремъ.

Точно также изъ сказаннаго нами выше слѣдуетъ, что сила боковаго давленія бываетъ тѣмъ значительнѣе, чѣмъ глубже лежитъ поверхность претерпѣвающая давленіе. — Справедливость послѣдняго подтверждается слѣдующимъ опытомъ. Стоитъ только наполнить водою пузырь, прикрѣпленный къ одному концу открытой трубки (фиг. 441). Опуская пузырь съ трубкою въ воду, мы увидимъ, что онъ сожмется отъ давленія охватившей его воды, которое заставитъ даже воду изъ пузыря подняться вверхъ по трубкѣ. Поднятіе это будетъ тѣмъ болѣе, чѣмъ глубже пузырь погрузится въ воду. Величину боковаго давленія воды необходимо опредѣлять при постройкѣ плотинъ и вообще стѣнъ, слу-

Фиг. 441.



жащихъ бассейнами для воды. Важность этого мы можемъ видѣть изъ того, что пустая бутылка тонкаго стекла съ заткнутымъ горломъ, при погруженіи своемъ на значительную глубину, лопается тотчасъ отъ сильнаго боковаго давленія воды.

Шлюзы, употребляемые или для задержанія высоко расположенной воды рѣкъ и морей, или для прохода судовъ въ каналахъ, весьма часто выносятъ съ обѣихъ сторонъ своихъ давленія водяныхъ столбовъ различной высоты.

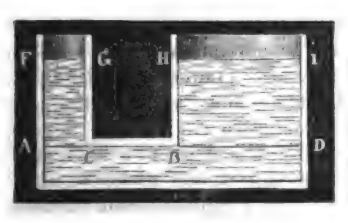
§ 146. До сихъ поръ мы разсматривали явленія представляемыя при равновѣсіи вѣсомой жидкости, заключающейся въ одномъ сосудѣ. Перейдемъ теперь къ равновѣсію жидкостей въ сообщающихся сосудахъ. Равновѣсіе жидкости въ сообщающихся сосудахъ.

Представимъ себѣ водяной столбъ *abcd* (фиг. 442). Если вода во всемъ сосудѣ находится въ равновѣсіи, то на основаніи сказаннаго слѣдуетъ, что давленіе производимое этимъ столбомъ уничтожается сопротивленіемъ всей окружающей его массы. Поэтому если бы отдѣлить столбъ *abcd* отъ остальной жидкости и мѣсто его замѣстить тотчасъ какой нибудь твердой преградой той же формы, которая была бы въ состояніи противиться давленію остальной жидкости, то равновѣсіе воды не будетъ чрезъ то нисколько нарушено и уровень ея останется по прежнему неизмѣннымъ, несмотря на то, что масса воды будетъ въ обѣихъ половинахъ сосуда не равна. Это приводитъ насъ къ заключенію, что въ двухъ сообщающихся между собою сосудахъ *akgnob* и *dxmnoc*, жидкость находится всегда въ равновѣсіи, если только уровень ея въ обоихъ колѣнахъ одинаковъ.

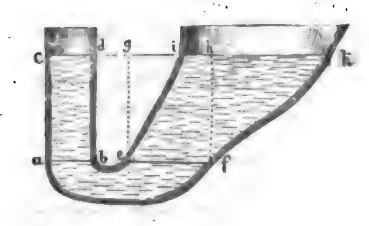
Фиг. 442.

Разрѣзъ подобныхъ сообщающихся между собою трубокъ, представленъ на фигурѣ 443-й, гдѣ столбъ воды *HBID* поддерживаетъ въ равновѣсіи столбъ *EAGH*. Но законъ равновѣсія жидкостей справедливъ не только для трубокъ съ отвѣсными стѣнками, но и со стѣнками всякой произвольной формы; однимъ словомъ, равновѣсіе это не зависитъ ни отъ формы, ни отъ величины сосудовъ. Мы

Фиг. 443.



Фиг. 444.



уже знаемъ, что давленіе водянаго столба *abcd* (фиг. 444) будетъ удержано въ равновѣсіи въ томъ случаѣ, если на *ef* производится давленіе равное вѣсу отвѣснаго водянаго столба *efgh*. Но какъ неправильный столбъ воды *efik* производитъ на основаніе *ef* точно такое давленіе, какъ и одинаковой высоты столбъ *efgk*, то ясно, что

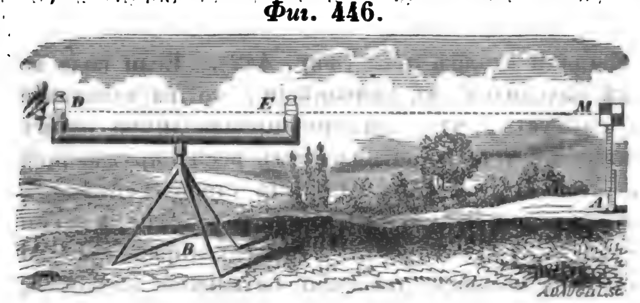
въ обоихъ колѣнахъ разсматриваемаго нами сосуда для равновѣсія жидкости, она должна находиться на одной высотѣ.

Фиг. 445.

Подобный примѣръ равновѣсія жидкости представленъ на фиг. 445-й. Тоже самое представляютъ намъ лампы и чайники, гдѣ узкія трубки или горлышки, постоянно держатъ жидкость на одной высотѣ съ остальною массою ея въ уширенныхъ частяхъ.

На свойствѣ соединяющихся трубокъ, держать одну и туже жидкость на одной высотѣ въ обоихъ колѣнахъ основано устройство *нивелира.* Приборъ этотъ состоитъ изъ жестяной или латунной трубки, загнутой съ обоихъ концовъ, къ которымъ прикрѣплены двѣ стеклянныя трубки *D* и *E* (фиг. 446).

Фиг. 446.



При употребленіи нивелира ставятъ его на треножникъ и наливаютъ водою до тѣхъ поръ, пока она не покажется въ обѣихъ трубкахъ. Во время равновѣсія поверхность воды въ обѣихъ этихъ трубкахъ должна быть одинакова, т. е. поверхности жидкости въ *D* и *E* должны лежать въ одной горизонтальной плоскости.

Этотъ снарядъ служитъ для нивелированія, т. е. для опредѣленія, на сколько одно мѣсто лежитъ выше или ниже другаго. Напримѣръ, если хотятъ найти на сколько точка земли *B* выше другой точки *A*, то ставятъ въ послѣдней точкѣ выдвижную линейку, называемую *рейкой,* которая оканчивается вверху жестяною дощечкою, имѣющею мѣтку посрединѣ. Поставивъ эту линейку вертикально въ *A*, наблюдатель, находясь при нивелирѣ, направляетъ чрезъ точки *D* и *E* лучъ зрѣнія на линейку и даетъ знакъ своему помощнику поднять или опустить дощечку для того, чтобы мѣтка дощечки находилась на продолженіи линіи *DE*. Измѣряя тогда высоту *AM* и вычитая изъ нея высоту нивелира надъ землею, узнаютъ на сколько точка *B* выше точки *A*.

Опредѣленный такимъ образомъ уровень есть *видимый уровень,* т. е. уровень соотвѣтствующій точкамъ, находящимся въ плоскости касательной къ поверхности земнаго шара, предполагаемаго совершенно шаромъ. *Истинный уровень* есть тотъ, который относится къ точкамъ равно отстоящимъ отъ центра земли. Только для точекъ, отстоящихъ недалеко другъ отъ друга, видимый уровень можно принять за истинный.

На томъ же свойствѣ соединяющихся трубокъ основано устройство *Вольфова анатомическаго подъема*, изображеннаго на фиг. 447-й.

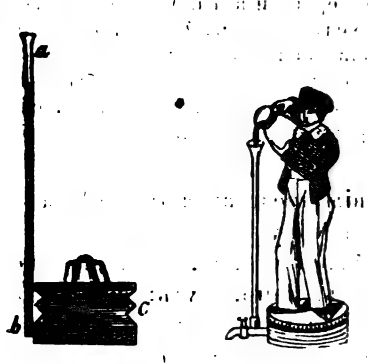
Фиг. 447.



Послѣдній приборъ состоитъ изъ длинной стеклянной или металлической трубки, соединяющейся съ сосудомъ *c*, обтянутымъ сверху кожей или пузыремъ *e*. Влитая черезъ отверстіе *a* вода входитъ въ сосудъ *c* и стремится подняться въ немъ до той же высоты, которую она имѣетъ въ колѣнѣ *ab*. При этомъ она встрѣчаетъ сопротивленіе со стороны натянутаго пузыря и оказываетъ на послѣдній давленіе, равное вѣсу водянаго столба, имѣющаго основаніемъ поверхность пузыря, а высотою — линію *fa*, которая показываетъ намъ, на сколько вода въ колѣнѣ *ab* выше противу верхней своей точки въ сосудѣ *c*. Отъ этого давленія пузырь натягивается и дѣлается болѣе удобнымъ для различныхъ изслѣдованій.

Подобное устройство имѣетъ и *гидравлическій мѣхъ* (фиг. 448). Сосудъ *c* состоитъ изъ плоской крышки, соединяющейся съ основаніемъ посредствомъ боковаго пузыря или кожи, которая растягивается кверху, отъ давленія воды, заключающейся въ сосудѣ *c*. Очевидно, что если мы положимъ гири на крышку, то отъ дѣйствія ихъ послѣдняя будетъ осаживаться книзу. Приборъ этотъ можетъ служить намъ вмѣсто вѣсовъ, при чемъ высота водянаго столба въ колѣнѣ *ba* будетъ соотвѣтствовать количеству гирь, которыя должно положить на крышку для того, чтобы поддерживать равновѣсіе между водою въ сосудѣ *c* и въ трубкѣ *ab*.

Фиг. 448. Фиг. 449.

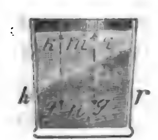


Такимъ же образомъ не трудно объяснить себѣ значеніе 449-й фигуры.

§ 147. Обратимся теперь къ равновѣсію двухъ или нѣсколькихъ разнородныхъ, несмѣшивающихся между собою, жидкостей въ одномъ и въ двухъ соединяющихся сосудахъ. Равновѣсіе несмѣшивающихся жидкостей въ одномъ сосудѣ.

Если двѣ какія нибудь жидкости, имѣющія различныя плотности и несмѣшивающіяся легко между собою, будутъ налиты въ стаканъ, то онѣ расположатся другъ надъ другомъ, сообразно большему или меньшему ихъ удѣльному вѣсу; такъ напр. изъ трехъ жидкостей: ртути, воды и масла, первая займетъ нижнее, вторая среднее, а третья верхнее мѣсто. Если смѣшать эти жидкости, то спустя немного времени, онѣ примутъ снова указанное нами положеніе. Прикасающіяся поверхности жидкостей *m* и *n* (фиг. 450) будутъ горизонтальны; въ противномъ случаѣ вышло бы, что надъ горизонтальною поверхностію *hr* лежатъ столбы жидкости *kg* и *kg* различнаго вѣсу, а слѣдовательно и давленіе, производимое ими на поверхность *hr* было бы различно.

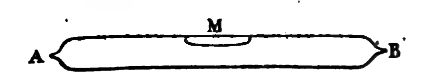
Фиг. 450.



На этомъ основаніи масло и воздушные пузырьки поднимаются въ водѣ. Вблизи устья рѣкъ на глубинѣ встрѣчаютъ болѣе плотную соленую морскую воду, между тѣмъ какъ прѣсная вода плаваетъ наверху. Точно также сливки отдѣляются постоянно отъ молока и занимаютъ верхній слой. Многія жидкости, какъ напр. вода и красное вино, при скоромъ наливаніи ихъ въ стаканъ и въ особенности при встряхиваніи послѣдняго смѣшиваются между собою; но если вино, обладающее меньшею плотностію, лить по каплямъ на болѣе плотную воду, то первое будетъ плавать на послѣдней.

Одно изъ важныхъ примѣненій закона расположенія жидкостей въ одномъ сосудѣ, мы встрѣчаемъ при устройствѣ *уровня*, употребляемаго для приведенія въ горизонтальное положеніе какой нибудь плоскости. Этотъ чувствительный и точный приборъ состоитъ изъ немного погнутой стеклянной трубки *AB* (фиг. 451). Трубку эту наполняютъ водою или спиртомъ, такъ чтобы въ ней оставалось небольшое мѣсто для воздуха, который въ видѣ пузырька стремится къ занятію самаго высшаго

Фиг. 451.





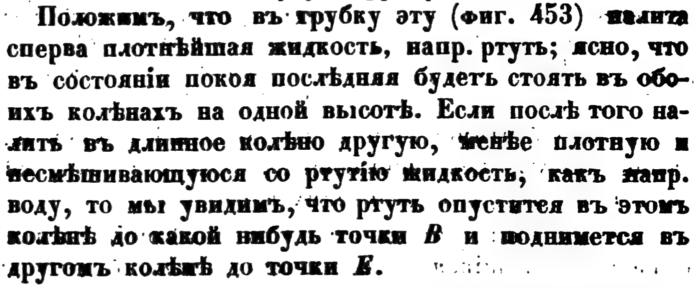
Фиг. 452.

мѣста въ трубкѣ. Трубка по наполненіи запаевается на лампѣ съ двухъ своихъ сторонъ и вдѣлывается въ мѣдный чехолъ *CD* (фиг. 452). Послѣдній утверждается на металлическомъ основаніи, такимъ образомъ, чтобы при помѣщеніи всего прибора на горизонтальной плоскости, воздушный пузырекъ *M* останавливался въ точности между двумя чертами, проведенными въ равномъ разстояніи отъ средины трубки.

Равновѣсіе жидкостей въ сообщающихся сосудахъ.

§ 148. Посмотримъ теперь, какія условія представляютъ двѣ различныя жидкости налитыя въ изогнутую трубку.

Фиг. 453.



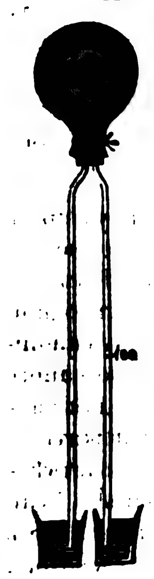
Положимъ, что въ трубку эту (фиг. 453) налита сперва плотнѣйшая жидкость, напр. ртуть; ясно, что въ состояніи покоя послѣдняя будетъ стоять въ обоихъ колѣнахъ на одной высотѣ. Если послѣ того налить въ длинное колѣно другую, менѣе плотную и несмѣшивающуюся со ртутію жидкость, какъ напр. воду, то мы увидимъ, что ртуть опустится въ этомъ колѣнѣ до какой нибудь точки *B* и поднимется въ другомъ колѣнѣ до точки *E*.

Если продолжить мысленно горизонтальную поверхность, раздѣляющую у точки *B* обѣ жидкости, до встрѣчи съ другимъ колѣномъ, то однородная жидкость, находящаяся ниже горизонтальной линіи *BA*, будетъ находиться въ равновѣсіи. Всѣ точки ртути, находящіяся на протяженіи этой линіи, будутъ выдерживать давленіе столба воды, восходящаго до точки *F*, и давленіе столба ртути, доходящаго до точки *E*. Понятно, что поверхность ртути, лежащая на протяженіи линіи *BA*, можетъ тогда только находиться въ равновѣсіи и слѣдовательно сохранять свою горизонтальность, когда оба эти давленія взаимно равны между собою, потому что только въ этомъ случаѣ давленіе воды, распространенное чрезъ ртуть, лежащую ниже линіи *BA*, можетъ уничтожаться давленіемъ ртути, находящейся надъ линіею *BA*. Если h есть высота, а s удѣльный вѣсъ столба ртути надъ линіею *BA*, то давленіе на каждую единицу поверхности лежащей на протяженіи линіи *BA*, выразится произведеніемъ $h \times s$. Какъ это давленіе распространяется равномѣрно чрезъ всю ртуть до поверхности отдѣляющей въ длинномъ колѣнѣ воду отъ ртути, то на каждую единицу этой поверхности будетъ давить кверху сила равная $h \times s$. Если мы означимъ чрезъ h' высоту, а чрезъ s' удѣльный вѣсъ столба воды въ длинномъ колѣнѣ, то $h's'$ выразитъ величину давленія, которое претерпѣваетъ сверху внизъ каждая единица поверхности, раздѣляющей въ точкѣ b обѣ жидкости. При состояніи равновѣсія жидкостей, давленія эти должны быть равны, т. е. $hs = h's'$, откуда $h : h' = s' : s$; это значитъ, что *высоты столбовъ двухъ разнородныхъ жидкостей надъ раздѣляющею ихъ поверхностію находятся въ обратномъ отношеніи къ ихъ удѣльнымъ вѣсамъ.*

Какъ удѣльный вѣсъ ртути въ $13^1/_2$ разъ болѣе удѣльнаго вѣса воды, то высота его надъ раздѣляющею поверхностію должна быть въ $13^1/_2$ разъ менѣе противу высоты столба воды *BF*, что и оказывается на самомъ дѣлѣ при точномъ измѣреніи обоихъ столбовъ.

Этотъ гидростатическій законъ можетъ служить для опредѣленія удѣльныхъ вѣсовъ жидкостей. И въ самомъ дѣлѣ положимъ, что въ одномъ колѣнѣ сосуда представленнаго на фиг. находится вода, а въ другомъ эѳиръ и что высоты столбовъ обѣихъ этихъ жидкостей при сохраненіи равновѣсія относятся между собою какъ 35: 49. Взявъ удѣльный вѣсъ воды за единицу и назвавъ удѣльный вѣсъ эѳира чрезъ x, получимъ $x/_1 = {}^{35}/_{49}$, откуда $x = 0{,}71$.

Фиг. 454.



Съ этою цѣлію устроено много приборовъ, изъ которыхъ наибольшею простотою отличается приборъ *Мора*, представленный на фиг. 454-й.

Онъ состоитъ изъ резиноваго мѣшка, горло котораго плотно закупорено пробкой. Въ эту пробку вставлены двѣ равныя цилиндрическія стеклянныя трубки, изъ которыхъ каждая погружается открытымъ концомъ въ небольшой стаканчикъ. Въ одномъ изъ стаканчиковъ находится дистиллированная вода, а въ другомъ жидкость, удѣльный вѣсъ которой мы желаемъ опредѣлить. Если сдавить мѣшокъ рукою и изгнать изъ него извѣстное количество воздуха, то по освобожденіи мѣшка отъ давленія онъ будетъ растягиваться снова вслѣдствіе упругости и сдѣлается способнымъ къ втягиванію въ себя жидкостей изъ стаканчиковъ. Но обѣ эти жидкости поднимутся въ трубкахъ до различныхъ высотъ. Если обѣ трубки снабжены одинаковыми дѣленіями, то мы можемъ легко опредѣлить высоты обоихъ столбовъ жидкостей и чрезъ то вычислить удѣльный вѣсъ жидкости, сравниваемой съ водою.

Равновѣсіе твердыхъ тѣлъ, погруженныхъ въ жидкости.

§ 149. Если мы погрузимъ какое нибудь твердое тѣло въ сосудъ съ водою, то для помѣщенія своего въ жидкости, оно должно вытѣснить часть послѣдней одинаковаго съ нею объема. Такъ какъ часть эта, занимая прежнее свое мѣсто между остальною массою воды, была поддерживаема со всѣхъ сторонъ давленіемъ окружающей ее жидкости, то очевидно, что давленіе это дѣйствуетъ одинаковымъ образомъ и въ отношеніи къ погруженному тѣлу, противудѣйствуя давленію той части его вѣса, которая равна вѣсу вытѣсненнаго имъ количества воды. И въ самомъ дѣлѣ, если какое нибудь твердое Архимедовъ законъ.

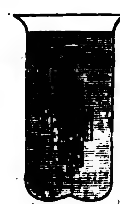
тѣло k будетъ погружено въ воду (фиг. 455), то боковыя давленія на него, какъ равныя и взаимно противоположныя уничтожаются другъ другомъ. Верхняя же поверхность его будетъ претерпѣвать давленіе водянаго столба, имѣющаго одно основаніе съ тѣломъ, а высоту h. На нижнюю сторону тѣла будетъ происходить давленіе равное вѣсу водянаго столба, имѣющаго тоже самое основаніе, а высоту h'.

Фиг. 455.



Такъ какъ высоты h и h', разнствуютъ между собою только на высоту погруженнаго тѣла, то очевидно, что и самая разность между давленіями на нижнюю и верхнюю его поверхности соотвѣтствуетъ вѣсу водянаго столба, имѣющаго одинаковый объемъ съ погруженнымъ тѣломъ. Какъ этотъ избытокъ давленія кверху дѣйствуетъ противоположно тяжести тѣла, потому и самое дѣйствіе послѣдней должно уменьшиться на вѣсъ количества воды вытѣсненнаго тѣломъ.

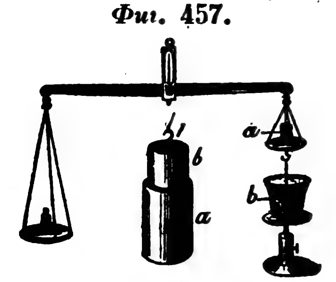
Фиг. 456.



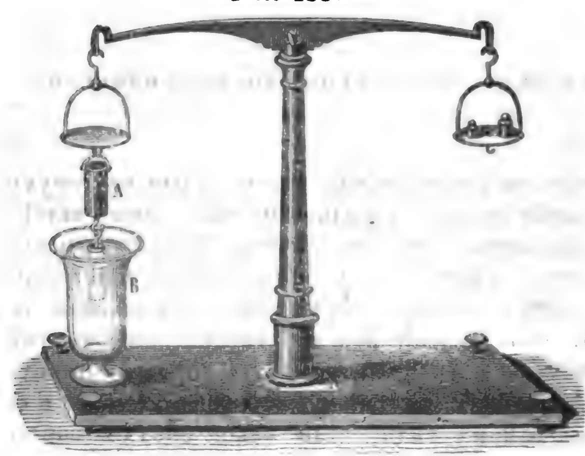
Подобное разсужденіе мы можемъ примѣнить ко всякому тѣлу, принимая его за совокупность множества призмъ весьма малаго объема (фиг. 456).

Справедливость этого закона, открытаго впервые сиракузскимъ ученымъ Архимедомъ, жившимъ за 250 лѣтъ до Р. Хр., подтверждается съ самою строгою точностію посредствомъ опыта. И въ самомъ дѣлѣ, если мы (фиг. 457) къ одной изъ чашекъ вѣсовъ привѣсимъ снизу сплошной мѣдный цилиндръ b, а на самую чашку положимъ пустой цилиндръ a, то для равновѣсія вѣсовъ должно будетъ положить на противоположную чашку гирю, соотвѣтственную вѣсу обоихъ цилиндровъ. Если послѣ того мы опустимъ цилиндръ b въ подставленный подъ него сосудъ съ водою, такъ чтобы послѣдняя покрывала вершину его, то равновѣсіе вѣсовъ нарушится и для возстановленія его должно будетъ только наполнить водою цилиндръ a, вмѣстимость котораго, какъ показываетъ таже самая фигура, въ точности равна объему цилиндра b. Подобнаго устройства вѣсы называются *гидростатическими*. Для удобнѣйшаго употребленія даютъ имъ форму представленную на фигурѣ 458-й.

Фиг. 457.



Фиг. 458.



На основаніи Архимедова закона, мы можемъ опредѣлить съ точностію объемъ всякаго тѣла, самой неправильной формы, если только оно нерастворимо въ водѣ. Для этого прикрѣпляютъ тѣло къ ниткѣ, привѣшенной въ свою очередь къ гидростатическимъ вѣсамъ, взвѣшиваютъ его сперва въ воздухѣ, а потомъ въ перегнанной водѣ, при температурѣ $+ 4^0$ Ц. Потеря вѣса тѣла означитъ вѣсъ вытѣсненной воды. По вѣсу этой воды вычисляютъ ея объемъ, а слѣдовательно и объемъ погруженнаго тѣла, потому что оба эти объема очевидно равны между собою. Положимъ напр. потеря вѣса равняется 155 граммамъ; это значитъ, что вытѣсненная вода вѣситъ 155 граммовъ; но мы знаемъ, что граммъ есть вѣсъ кубическаго сантиметра перегнанной воды при температурѣ 4^0 Ц., слѣдовательно объемъ вытѣсненной воды, а поэтому и погруженнаго тѣла, равенъ 155 кубическимъ сантиметрамъ.

Перейдемъ теперь къ равновѣсію тѣлъ, погруженныхъ въ жидкости.

§ 150. Изъ сказаннаго нами слѣдуетъ, что всякое тѣло, погруженное въ жидкость, бываетъ подвержено дѣйствію двухъ силъ — тяжести и давленію воды. Первая сила, направляясь черезъ центръ тяжести тѣла, дѣйствуетъ сверху внизъ, между тѣмъ какъ другая, равная вѣсу вытѣсненной тѣломъ воды, дѣйствуетъ по направленію противоположному снизу вверхъ. Такъ какъ давленіе это равно давленію вытѣсненной тѣломъ воды, то очевидно, что совокупное дѣйствіе давленія воды на погруженное тѣло, должно направляться на точку, составляющую центръ тяжести вытѣсненной имъ воды. — Самая же равнодѣйствующая двухъ этихъ силъ тяжести и давленія воды равна ихъ разности, и зависитъ отъ отношенія плотности погруженнаго тѣла къ плотности жидкости. И въ самомъ дѣлѣ, если вѣсъ тѣла равенъ вѣсу вытѣсненной имъ воды, то ясно, что остальная масса жидкости, дѣйствуя на него также, какъ и на вытѣсненную имъ воду, будетъ держать его на всякомъ мѣстѣ въ равновѣсіи, не позволяя ему ни опускаться, ни подниматься; при этомъ очевидно, что центръ тяжести тѣла будетъ совпадать съ центромъ давленія. Если же тѣло b (фиг. 459) тяжелѣе вытѣсненной имъ воды a, то оно опустится книзу, потому что давленіе, производимое тяжестію его, будетъ превышать давленіе, противопоставляемое ему остальною массою жидкости. Когда же погруженное тѣло b (фиг. 460) легче вытѣсненной имъ воды a, то давленіе, производимое тяжестію его, будетъ менѣе давленія, противопоставляемаго ему остальною жидкостію, которая вслѣдствіе того будетъ поднимать его кверху надъ своею поверхностію до тѣхъ поръ, пока вытѣсненное имъ количество воды не будетъ равно всему вѣсу тѣла.

Плаваніе тѣлъ.

Фиг. 459. a

Фиг. 460. a

Послѣднее положеніе тѣла въ водѣ называется *плаваніемъ*. Примѣръ плаванія на водѣ представляютъ намъ воскъ, дерево и другія тѣла, легчайшія противу воды.

Изъ условія выведеннаго нами для плаванія всякаго тѣла очевидно, что одно и тоже тѣло, погружаясь въ различныя жидкости, опускается глубже въ легчайшія, чѣмъ въ плотнѣйшія и на оборотъ. Такъ напр. яйцо опущенное въ обыкновенную воду погружается ко дну, потому что при равномъ объемѣ вѣсъ его болѣе вѣса вытѣсненной воды. Тоже яйцо опущенное въ воду, въ которой растворено достаточное количество соли, плаваетъ. Кусокъ дубоваго дерева плаваетъ въ водѣ. но погружается въ маслѣ. Масса желѣза плаваетъ въ ртути и погружается въ водѣ. На этомъ основаніи корабль или судно погружается въ рѣчной водѣ глубже, нежели въ морской.

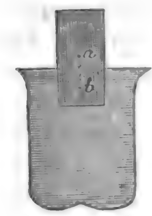
Но должно замѣтить, что не только тѣла легчайшія противу жидкости, но даже и плотнѣйшія, могутъ плавать въ ней, если только увеличить занимаемый ими объемъ, или привесть ихъ въ соединеніе съ тѣлами легчайшими. Такъ напр. сплошной кусокъ желѣза, вѣсящій лотъ по погруженіи въ воду, теряетъ въ водѣ до $^1/_8$ части своего вѣса: это значитъ, что онъ вытѣсняетъ объемъ воды, котораго вѣсъ равенъ $^1/_8$ части лота; но если тотъ же самый кусокъ желѣза вытянуть въ листъ и сдѣлать изъ него ящикъ, котораго объемъ былъ бы въ 8 разъ болѣе противу первоначальнаго своего состоянія, то таже самая масса желѣза вытѣснитъ объемъ воды въ 8 разъ большій, нежели въ первомъ случаѣ. Въ первомъ случаѣ вѣсъ вытѣсненной воды равнялся $^1/_8$ лота, значитъ въ послѣднемъ онъ будетъ равенъ лоту, а это показываетъ намъ, что ящикъ потеряетъ въ водѣ весь свой вѣсъ (1 лотъ). Понятно, что при такомъ условіи онъ будетъ плавать въ ней, погружаясь до самаго края. Ежели объемъ ящика будетъ увеличенъ вдвое, такъ чтобы имъ могло вытѣсниться 2 лота воды, то онъ опустится въ нее только до половины, и для погруженія его до самаго края, намъ стоитъ только положить въ него тяжесть въ 1 лотъ. На этомъ основаніи дѣлаютъ корабли изъ желѣза, несмотря на то, что послѣднее въ 8 разъ тяжелѣе воды; мы видимъ также, что стеклянный стаканъ плаваетъ въ водѣ, хотя плотность стекла въ 3 раза болѣе плотности воды.

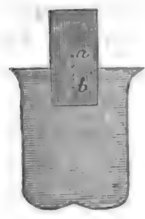
Если твердое тѣло плаваетъ на поверхности какой нибудь жидкости и находится въ равновѣсіи, то это равновѣсіе можетъ быть различнаго рода, оно можетъ быть: 1) *устойчивое*, въ томъ случаѣ, когда тѣло выведенное изъ своего положенія снова стремится принять его; 2) *неустойчивое*, когда тѣло вмѣсто принятія прежняго положенія опрокидывается, и наконецъ 3) *безразличное*, если тѣло держится на водѣ при всѣхъ возможныхъ положеніяхъ его.

Чтобы рѣшить какой родъ равновѣсія должно принять извѣстное тѣло, должно обратить вниманіе на силы, которыя дѣйствуютъ при плаваніи его. Эти силы, какъ мы уже сказали выше, заключаются въ вѣсѣ погруженнаго тѣла и въ сопротивленіи жидкости. Первую силу, дѣйствующую по направленію линіи наденія, мы можемъ представить себѣ сосредоточенною въ центрѣ тяжести тѣла. Сопротивленіе же жидкости, обнаруживаемое давленіемъ всѣхъ частей ея находя-

щихся подъ тѣломъ, дѣйствуетъ снизу вверхъ по направленію противоположному направленію паденія центра тяжести вытѣсненной жидкости съ силою равною вѣсу послѣдней.

Фиг. 461.





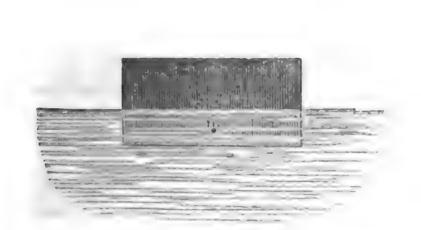
Изъ этого слѣдуетъ что тѣло, плавающее въ жидкости, будетъ находиться тогда въ равновѣсіи, когда линія, по которой совершается дѣйствіе сопротивленія, проходитъ чрезъ центръ тяжести тѣла (фиг. 461), однимъ словомъ, когда послѣдняя точка имѣетъ опору.

Фиг. 462.

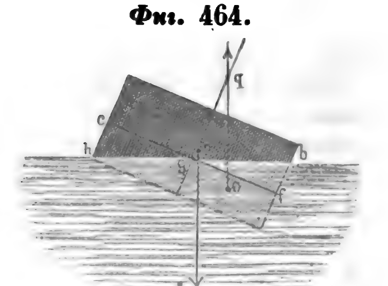
Равновѣсіе это бываетъ *устойчивое* въ томъ случаѣ, когда центръ тяжести a (фиг. 462) тѣла лежитъ на отвѣсной линіи подъ центромъ тяжести b вытѣсненной жидкости и тѣмъ устойчивѣе, чѣмъ болѣе разстояніе между этими двумя точками. Мы поймемъ это лучше, если сравнимъ плавающее тѣло съ погруженнымъ въ воду маятникомъ, точкой привѣса котораго служитъ центръ тяжести вытѣсненной воды, а тяжелымъ пунктомъ центръ тяжести тѣла. Понятно, что такой маятникъ по принятіи равновѣсія послѣ всѣхъ возможныхъ качаній, будетъ принимать постоянно одно и тоже положеніе.

Если же центръ тяжести тѣла p (фиг. 463) находится выше центра тяжести m вытѣсненной жидкости, то равновѣсіе тѣла, какъ, мы уже упомянули, будетъ возможно только тогда, когда эти центры находятся на одной и той же отвѣсной линіи. Не трудно замѣтить, что чѣмъ выше центръ тяжести тѣла лежитъ надъ центромъ вытѣсненной воды, тѣмъ равновѣсіе тѣла будетъ менѣе устойчиво.

Фиг. 463.



Фиг. 464.



Но чтобы изслѣдовать ближе это равновѣсіе посмотримъ, что произойдетъ въ этомъ случаѣ съ тѣломъ, если вывести его изъ положенія изображеннаго на фиг. 463-й. Положимъ что тѣло, разрѣзъ котораго представляетъ продолговатый прямоугольникъ, приведено въ положеніе означенное фиг. 464-й. Въ этомъ случаѣ треугольникъ cgh поднимается. а треугольникъ gbf опустится въ воду; какъ количество вытѣсненной воды при всякомъ положеніи одного и того же плавающаго тѣла должно быть одинаково, то очевидно, что $cgh = gbf$. Но при этомъ видъ погруженной части уже другой, нежели въ предъидущемъ случаѣ, поэтому и центръ тяжести вытѣсненной воды

не будетъ уже болѣе въ m, а въ какой нибудь другой точкѣ o, которой положеніе для каждаго частнаго случая должно быть опредѣлено. Въ этомъ положеніи на плавающее тѣло дѣйствуютъ двѣ противоположныя отвѣсныя силы: одна центръ тяжести тѣла, направляющійся книзу, а другая центръ тяжести вытѣсненной воды, направляющійся кверху. Обѣ эти параллельныя силы, приложенныя къ тѣлу, будутъ стремиться производить вращеніе его и притомъ такимъ образомъ: сила, проходящая чрезъ центръ тяжести тѣла, будетъ способствовать опусканію нижней части его, между тѣмъ какъ сила, проходящая чрезъ o, будетъ препятствовать верхней части тѣла опускаться книзу. Если мы проведемъ мысленно чрезъ o отвѣсную линію, то она пересѣчетъ перпендикуляръ проведенный чрезъ m во время равновѣсія тѣла въ точкѣ q, которая называется *метацентромъ*.

Пока центръ тяжести тѣла лежитъ на линіи mq ниже q, до тѣхъ поръ обѣ противодѣйствующія силы будутъ постоянно стремиться приводить тѣло въ состояніе равновѣсія. Устойчивость тѣла прекращается въ томъ случаѣ, когда центръ тяжести его находится выше метацентра, потому что въ этомъ случаѣ сила, приложенная къ центру тяжести, вмѣсто опусканія нижней части тѣла будетъ содѣйствовать опусканію верхней. Наконецъ равновѣсіе бываетъ безразличнымъ, когда метацентръ совпадаетъ съ центромъ тяжести тѣла. Изъ этого легко замѣтить, что при постройкѣ и нагрузкѣ кораблей весьма важно давать центру тяжести выгоднѣйшее положеніе, и что корабль стоитъ тѣмъ тверже, чѣмъ ниже лежитъ его центръ тяжести подъ метацентромъ. Отсюда понятно, почему при нагруженіи кораблей самую тяжелую часть груза должно класть всегда внизу. — Точно также легко объяснить себѣ употребленіе балласта.

Тѣже самые законы, по которымъ производится поднятіе и опусканіе твердыхъ тѣлъ въ жидкостяхъ, очевидно имѣютъ силу и для жидкахъ тѣлъ. На этомъ основаніи понятно, почему несмѣшивающіяся жидкости располагаются въ одномъ сосудѣ согласно ихъ удѣльному вѣсу. Явленіе это было изложено нами выше при объясненіи закона равновѣсія разнородныхъ жидкостей въ одномъ сосудѣ, гдѣ мы имѣли въ виду преимущественно показать причину горизонтальности прикасающихся поверхностей ихъ.

Показанное нами плаваніе тѣлъ, называемое *естественнымъ*, не должно смѣшивать съ *искусственнымъ*, при которомъ тѣла, несмотря на большую свою плотность противу воды, удерживаются на поверхности его съ помощію различныхъ движеній, позволяющихъ имъ вытѣснять по возможности большее количество воды.

Хотя тѣло у нѣкоторыхъ людей и бываетъ нѣсколько легче не только морской, но и прѣсной воды, но вообще человѣкъ можетъ держаться на поверхности воды только посредствомъ искусственнаго плаванія, потому что, для свободнаго дыханія, онъ долженъ держать надъ водою ротъ и вообще голову, удѣльный вѣсъ которой болѣе противу удѣльнаго вѣса другихъ членовъ.

И въ самомъ дѣлѣ, человѣкъ плаваетъ на спинѣ гораздо легче, чѣмъ на животѣ, потому что въ первомъ случаѣ онъ можетъ погрузить въ воду большую часть своей головы, имѣя носъ и ротъ свободными для дыханія. Вотъ почему многія животныя, какъ наприм. собаки и др., плаваютъ легко, потому что устройство тѣла позволяетъ имъ держать въ водѣ большую часть головы, которая у нихъ и безъ того легче сравнительно съ прочими частями. Для одного и того же человѣка относительный вѣсъ можетъ измѣняться; такъ наприм. послѣ сильнаго вдыханія, при которомъ расширяется грудная полость, онъ дѣлается менѣе, нежели при сильномъ выдыханіи. Весьма незначительнымъ относительнымъ вѣсомъ отличался, жившій около 1767 года, Неаполитанецъ Паоло Моккія, который погружался въ воду только до половины груди. Въ случаѣ опасности, человѣкъ, погруженный въ воду, долженъ стараться держать въ водѣ, по возможности, большую часть своего тѣла и не вынимать изъ нея рукъ. Всякій не умѣющій плавать можетъ держаться въ водѣ, привязавъ къ своей груди до 6 фунтовъ пробокъ.

У большой части рыбъ въ животѣ подъ позвоночнымъ столбомъ находится наполненный воздухомъ пузырь. Пузырь этотъ, называемый *плавательнымъ* съ помощію мускуловъ сжимается и расширяется, чрезъ что уменьшается и увеличивается самый объемъ занимаемый рыбою въ водѣ. Это же измѣненіе объема позволяетъ рыбѣ по произволу опускаться и подниматься въ водѣ. Поступальныя движенія рыбъ въ водѣ были объяснены нами при сложеніи силъ.

Опредѣленіе удѣльнаго вѣса твердыхъ и жидкихъ тѣлъ.

§ 151. Выведенный нами законъ Архимеда, касательно уменьшенія вѣса тѣлъ въ водѣ, можно весьма удобно приложить къ опредѣленію удѣльнаго вѣса тѣлъ. И въ самомъ дѣлѣ, мы видѣли, что удѣльный вѣсъ всякаго тѣла, какъ твердаго, такъ и жидкаго, выражается числомъ, показывающимъ намъ восколько разъ вѣсъ испытуемаго тѣла, при равномъ объемѣ, болѣе или менѣе противу вѣса перегнанной воды, взятой при 4° Ц. Вслѣдствіе этого опредѣленія для полученія удѣльнаго вѣса каждаго тѣла достаточно опредѣлить его вѣсъ и вѣсъ равнаго съ нимъ объема воды, потомъ раздѣлить первый вѣсъ на второй; частное выразитъ намъ искомый удѣльный вѣсъ. Примѣненіе Архим. закона къ опредѣленію удѣльн. вѣса тѣлъ.

Законъ Архимеда и представляетъ намъ въ этомъ случаѣ средство опредѣлять вѣсъ воды одинаковаго объема съ тѣломъ. Такъ напримѣръ, взвѣшивая кусокъ свинца въ воздухѣ и въ водѣ, мы найдемъ, что въ первомъ случаѣ онъ будетъ вѣсить 22 лота, а во второмъ только 20 лотовъ (22—2); значитъ, количество потеряннаго вѣса покажетъ намъ вѣсъ вытѣсненной воды, объемъ которой очевидно равенъ объему самаго тѣла.



Подобное взвѣшиваніе производятъ на *гидростатическихъ вѣсахъ*.

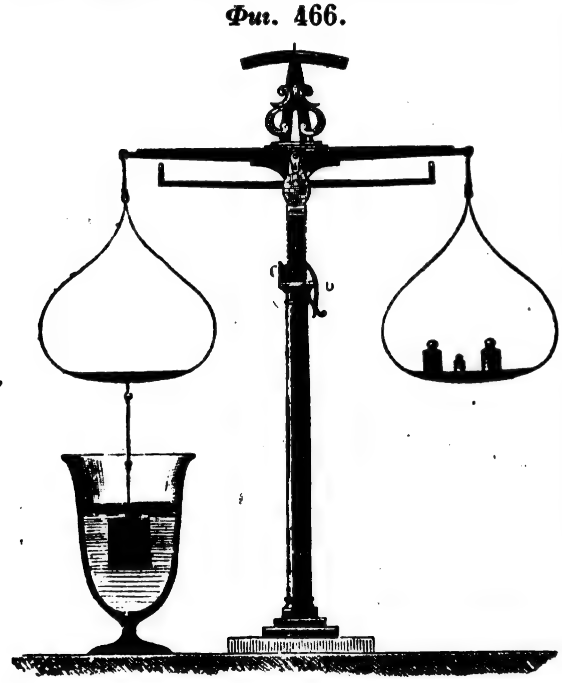


Фиг. 465.

Для опредѣленія съ помощію этихъ вѣсовъ (фиг. 465) относительнаго вѣса, взвѣшиваютъ тѣло сперва въ воздухѣ, потомъ прикрѣпляютъ его къ крючку *a* и взвѣшиваютъ въ водѣ. Полученная потеря вѣса дастъ, какъ мы уже видѣли, вѣсъ воды, равнаго объема съ тѣломъ. Послѣ того должно раздѣлить вѣсъ тѣла въ воздухѣ на потерю вѣса въ водѣ и полученное частное выразить искомый удѣльный вѣсъ.

Если P представляетъ вѣсъ тѣла въ воздухѣ, P' вѣсъ его въ водѣ, а D его удѣльный вѣсъ, то вѣсъ вытѣсненной воды будетъ равенъ $P - P'$, слѣдовательно $D = \frac{P}{P - P'}$.

На фиг. 466-й, представлены гидростатическіе вѣсы, употребляемые при болѣе точныхъ взвѣшиваніяхъ.



Фиг. 466.

Чтобы опредѣлить удѣльный вѣсъ тѣла, легчайшаго противу воды, соединяютъ его съ какимъ нибудь тяжелымъ тѣломъ, которое могло бы погрузить его съ собою въ воду. Послѣ того опредѣляютъ потерю вѣса соединенныхъ тѣлъ и вычитаютъ изъ ней, заранѣе найденную, потерю вѣса плотнѣйшаго тѣла; разность покажетъ намъ вѣсъ воды, занимающей одинаковый объемъ съ легчайшимъ тѣломъ. Раздѣливъ вѣсъ искомаго тѣла, полученный въ воздухѣ, на отъисканную потерю вѣса, мы получимъ опредѣляемый удѣльный вѣсъ.

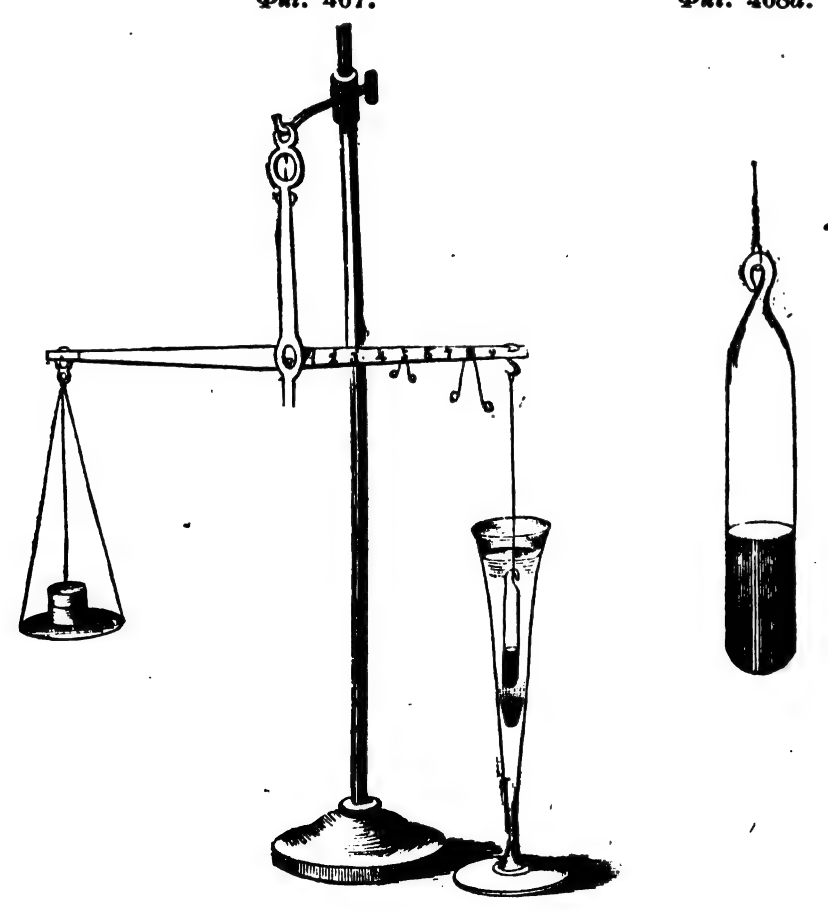
Если тѣла, какъ напр. соль и др., растворяются въ водѣ, то потерю ихъ вѣса опредѣляютъ въ спиртѣ или въ другой жидкости, которой плотность извѣстна и которая бы вмѣстѣ съ тѣмъ не могла растворять погружаемаго въ нее тѣла. При этомъ не должно упускать изъ виду, что во сколько разъ спиртъ легче воды, во столько и самая потеря вѣса опредѣляемаго тѣла въ водѣ будетъ болѣе противу потери вѣса его въ спиртѣ.

Для опредѣленія удѣльнаго вѣса жидкостей посредствомъ гидростатическихъ вѣсовъ, привѣшиваютъ къ крючку одной изъ чашекъ тѣло, на которое не оказываетъ химическаго дѣйствія данная жидкость, какъ напр. платиновый шарикъ. Взвѣсивъ этотъ шарикъ въ воздухѣ, въ водѣ при 4° и наконецъ въ данной жидкости, замѣчаютъ потерю вѣса, претерпѣваемаго этою массою въ водѣ и во второй жидкости и такимъ образомъ получаютъ два числа, представляющія намъ при равныхъ объемахъ вѣсъ воды и вѣсъ данной жидкости; слѣдовательно для опредѣленія удѣльнаго вѣса послѣдней, должно раздѣлить второй вѣсъ на первый.

Положимъ, P вѣсъ платиноваго шарика въ воздухѣ, P' его вѣсъ въ водѣ, P'' вѣсъ его во второй жидкости и D удѣльный вѣсъ послѣдней; вѣсъ воды вытѣсненной платиновымъ шарикомъ $= P-P'$, вѣсъ второй жидкости вытѣсненной шарикомъ $= P-P''$; откуда $D = \frac{P-P''}{P-P'}$.

Мы считаемъ не лишнимъ помѣстить здѣсь пріемъ опредѣленія удѣльнаго вѣса жидкостей, показанный Моромъ. Для этого раздѣляютъ одну половину коромысла вѣсовъ на 10 равныхъ частей, которыя означаютъ напильникомъ на верхней спинкѣ коромысла, и пронумеровываютъ цыфрами, начиная отъ 1 и до 9, какъ показываетъ фигура 467-я. — Берутъ небольшую стеклянную

Фиг. 467. Фиг. 468*a*.



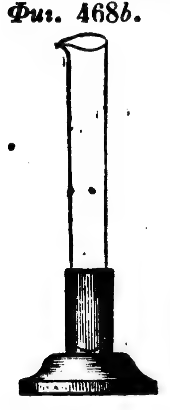
трубку, представленную на фиг. 468a въ натуральную величину, вытягиваютъ ее остроконечно съ верхней стороны и наполняютъ ртутью или свинцовыми зернами до того, чтобы трубка могла погружаться въ жидкости, удѣльный вѣсъ которой равенъ 2. Потомъ запаиваютъ съуженный конецъ и загибаютъ его крючкомъ, чрезъ который продѣвается платиновая проволока, оканчивающаяся мѣднымъ колечкомъ. Колечко это прикрѣпляется, какъ показываетъ фиг. 467-я, не къ чашкѣ, но къ раздѣленному на части плечу коромысла. — Съ другой стороны коромысла привѣшивается легкая чашка, на которой находится небольшая коробочка, назначаемая для помѣщенія противовѣсовъ, могущихъ уравновѣсить грузъ стаканчика.

Для опусканія стаканчика въ воду подставляютъ подъ него наполненную перегнанною водою длинную рюмку. Чтобы узнать сколько вѣсу потерялъ стаканчикъ въ водѣ, навѣшиваютъ на поддерживающей его крючекъ небольшую изогнутую тупымъ угломъ мѣдную проволоку, которую надрѣзываютъ и надпиливаютъ до тѣхъ поръ, пока не возстановится равновѣсіе коромысла, нарушенное погруженіемъ стаканчика въ воду. Точно пригнанная мѣдная проволока дастъ намъ въ точности вѣсъ воды вытѣсненной стаканчикомъ.

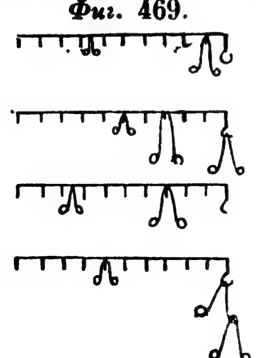
Послѣ того загибаютъ проволоку подъ болѣе острымъ угломъ и посредствомъ молотка пригоняютъ ее такъ, чтобы она могла помѣститься въ небольшія углубленія дѣленій коромысла. Такихъ проволокъ должно быть двѣ и къ нимъ присовокупляется третья, которой вѣсъ равенъ $^{1}/_{10}$ части вѣса большихъ проволокъ.

Употребленіе этихъ вѣсовъ слѣдующее: наполняютъ водою рюмку или стаканчикъ, представленный на фиг. 468b, и отмѣчаютъ уровень воды чертою. Погружаютъ стаканчикъ и передвигаютъ толстую проволоку щипчиками вдоль коромысла до тѣхъ поръ, пока не возстановится равновѣсіе. Когда удѣльный вѣсъ менѣе 1, то находятъ на коромыслѣ мѣсто, соотвѣтствующее этому условію. Если бы это мѣсто пришлось въ промежуткѣ между двумя числами, то положеніе его должно оцѣнить на глазъ. Въ этомъ случаѣ привѣшиваютъ тяжелую проволоку на ближайшее меньшее число и возстановляютъ недостающее равновѣсіе меньшею проволокою. Если послѣдняя точка находится между двумя числами, то оцѣниваютъ разстояніе на глазъ до одной десятой части. Число, противу котораго виситъ большая проволока, есть первая децимальная точка; число, соотвѣтствующее меньшей проволокѣ — вторая децимальная точка, и если послѣдняя приходится между двумя числами, то ближайшее число, начиная отъ средины вѣсовъ, есть вторая децимальная точка, а разстояніе отъ этого числа, оцѣненное до $^{1}/_{10}$ части, есть третья децимальная точка.

Фиг. 468*b*.



Фиг. 469.



На фиг. 469-й обѣ проволоки показываютъ удѣльный вѣсъ 0,850. На фиг. 467 числа, поставленныя сбоку, показываютъ удѣльные вѣса, соотвѣтствующіе положенію проволокъ. Если удѣльный вѣсъ болѣе 1 и менѣе 2, то одна изъ тяжелыхъ проволокъ виситъ на числѣ 10, т. е. на одномъ крючкѣ со стаканчикомъ. Вторая толстая проволока даетъ первую децимальную точку, меньшая же — вторую и третью. По причинѣ тонкости платиновой проволоки, употребляемой для привѣшиванія стаканчика, этотъ способъ опредѣленія удѣльнаго вѣса отличается особенною точностію. — Взвѣшиванія производятся весьма скоро и получаются прямо безъ вычисленій. Для поддержанія равновѣсія стаканчика достаточно налить въ рюмку до 6 драхмъ

воды. Для достиженія той же цѣли достаточенъ естественно и равный объемъ другой жидкости.

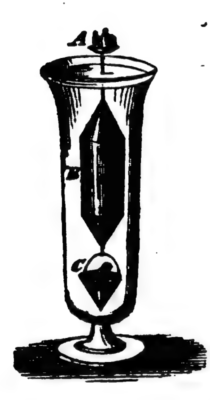
Моръ еще болѣе усовершенствовалъ свой приборъ. Онъ употребляетъ вѣсы съ разноплечнымъ коромысломъ; длинное плечо почти равно 300 мм., короткое — около 100 мм.; на концѣ длиннаго плеча, раздѣленнаго на 100 равныхъ частей, привѣшивается стаканчикъ. Короткое плечо оканчивается винтомъ, на которомъ мѣдная подвижная гиря можетъ быть помѣщена такимъ образомъ, что уравновѣшиваетъ стаканчикъ. Употребленіе этого прибора, дающаго удѣльный вѣсъ въ точности, до 4-хъ десятичной цыфры, можетъ быть легко представлено на основаніи предъидущаго.

Какъ точные и чувствительные вѣсы стоятъ дорого, то для опредѣленія удѣльнаго вѣса нерѣдко употребляютъ особеннаго рода дешевые приборы, называемые *ареометрами*.

Ареометры бываютъ различныхъ родовъ; одни изъ нихъ употребляются для опредѣленія удѣльнаго вѣса твердыхъ, а другія—жидкихъ тѣлъ. Для твердыхъ тѣлъ обыкновенно употребляютъ ареометръ *Никольсона*.

Онъ состоитъ изъ мѣднаго или жестянаго пустаго внутри цилиндра *B* (фиг. 470), оканчивающагося внизу конусомъ *C*, наполненнымъ свинцомъ. Послѣдній заступаетъ въ снарядѣ мѣсто балласта, такъ что центръ тяжести прибора находится ниже центра давленія — необходимое условіе устойчиваго равновѣсія. Вверху ареометръ оканчивается небольшимъ тонкимъ стержнемъ, на которомъ прикрѣплена круглая горизонтальная пластинка *A*; на послѣднюю кладутъ вѣсовыя гири и тѣло, удѣльный вѣсъ котораго должно опредѣлить. Наконецъ на стержнѣ замѣчаютъ черту, показывающую какъ глубоко приборъ погрузился въ воду и называемую *точкою погруженія*.

Фиг. 470.



Приступая къ опредѣленію вѣса какого нибудь тѣла посредствомъ этого ареометра, ищутъ прежде всего вѣсъ груза, который необходимо положить на пластинку *A*, для того чтобы ареометръ опустился до точки погруженія, потому что самъ по себѣ, одинъ, онъ часто выдается изъ воды Положимъ, что этотъ грузъ напримѣръ равенъ 125 граммамъ и что мы имѣемъ въ виду опредѣлить удѣльный вѣсъ сѣры. Тогда берутъ кусокъ сѣры вѣсомъ меньше 125 граммовъ, кладутъ на пластинку *A* и потомъ прибавляютъ на нее столько вѣсовыхъ гирь, сколько необходимо для погруженія ареометра опять до точки погруженія. Если надобно прибавить напр. 55 граммовъ, то очевидно, вѣсъ сѣры будетъ равняться разности между 125 и 55, т. е. 70 граммовъ. По опредѣленіи такимъ образомъ вѣса сѣры въ воздухѣ, остается только найти вѣсъ равнаго ей объема воды, для этого вынимаютъ ареометръ изъ воды и, снявъ съ пластинки *A* кусокъ сѣры, кладутъ ее на основаніе конуса *C*, какъ это видно на

фигурѣ. Общій вѣсъ прибора не измѣняется при этомъ, а между тѣмъ при погруженіи его вновь замѣчаютъ, что онъ не погружается до точки погруженія; это происходитъ отъ того, что сѣра, будучи погружена въ воду, теряетъ часть своего вѣса, которая равна вѣсу вытѣсненной ею воды. Прибавляя, для погруженія ареометра до точки погруженія, на верхнюю пластинку *A* гири, положимъ до 34,4 граммовъ, получимъ вѣсъ вытѣсненной сѣрою воды; онъ будетъ, очевидно, 34,4 грамма; а раздѣливъ вѣсъ сѣры въ воздухѣ, 70 грам. на 34,4 грамма, получимъ удѣльный вѣсъ сѣры 2,03 грамма.

Если тѣло, котораго ищутъ вѣсъ, легче воды, то оно не можетъ оставаться на конусѣ *C* и всплываетъ; тогда надъ основаніемъ конуса придѣлываютъ желѣзную рѣшетку, которая препятствуетъ тѣлу подняться вверхъ и опытъ производится по предъидущему.

Фиг. 471.

Мосъ сдѣлалъ въ этомъ приборѣ нѣкоторыя измѣненія, приспособивъ его преимущественно къ опредѣленію удѣльнаго вѣса минераловъ.

Измѣненный имъ ареометръ представленъ на фиг. 471-й. Для опредѣленія посредствомъ его потери вѣса тѣла въ водѣ кладутъ послѣднее въ углубленіе *a*, находящееся въ водѣ.

Для опредѣленія удѣльнаго вѣса жидкихъ тѣлъ употребляютъ преимущественно ареометръ Фаренгейта (фиг. 472), который похожъ на ареометръ Никольсона, съ тою только разницею, что не имѣетъ въ верхней части пластинки и дѣлается изъ стекла, какъ тѣла позволяющаго погружать его во всякую жидкость. Стволъ этого ареометра также имѣетъ черту, назначенную для полученія постояннаго объема при погруженіи. Наконецъ въ нижней части его находится небольшой шарикъ съ ртутью, служащею балансомъ и доставляющею прибору устойчивое равновѣсіе.

Фиг. 472.

Прежде произведенія опытовъ съ этимъ ареометромъ опредѣляютъ точно его вѣсъ, потомъ погружаютъ въ воду и кладутъ на верхнюю пластинку гири до тѣхъ поръ, пока поверхность воды не достигнетъ черты погруженія на стволѣ.

Въ этомъ состояніи вѣсъ ареометра, вмѣстѣ съ прибавленными гирями, представляетъ вѣсъ вытѣсненнаго объема воды. Дѣйствуя такимъ же образомъ и въ жидкости, которой удѣльный вѣсъ должно опредѣлить, получаютъ вѣсъ ея объема, равнаго объему воды въ первой части опыта. Наконецъ надобно раздѣлить второй полученный вѣсъ на первый.

Понятно, что точно также можно и посредствомъ ареометра Моса опредѣлить удѣльный вѣсъ жидкости, неоказывающей химическаго дѣйствія на металлъ, изъ котораго сдѣланъ ареометръ.

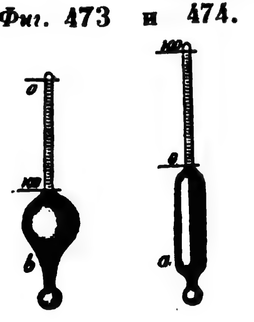
Ареометры Никольсона и Фаренгейта называются ареометрами съ *постояннымъ объемомъ и перемѣннымъ вѣсомъ*, потому что ихъ всегда погружаютъ до одной и той же степени, прибавляя для этого различныя гири, смотря по тѣламъ, надъ которыми производится опытъ. Правильное употребленіе этихъ ареометровъ, по сложности своей, требуетъ много времени и навыка, и потому, если не требуется особенной точности, то употребляютъ взамѣнъ ихъ, такъ называемые, ареометры съ *перемѣннымъ объемомъ и постояннымъ вѣсомъ*, т. е. такіе ареометры, которые не имѣютъ постоянной точки погруженія и сохраняютъ всегда одинъ и тотъ же вѣсъ. Эти приборы, называемые *солемѣрами, кислотомѣрами* и т. п. судя по роду жидкости, назначаются собственно не для опредѣленія плотности жидкостей, а для узнанія большей или меньшей густоты соляныхъ, кислыхъ, спиртовыхъ и другихъ растворовъ.

Ареометръ Боме. Парижскій аптекарь Боме, умершій въ 1804 г., устроилъ ареометръ съ постояннымъ вѣсомъ, весьма употребительный въ настоящее время. Это плавающій стеклянный приборъ, представленный на фиг. 472. Онъ состоитъ изъ ствола *a*, въ нижней части котораго выдуто два шарика; одинъ большой, наполненный воздухомъ, и другой меньшій, наполненный ртутью, замѣняющею балластъ.

Фиг. 472

Можно двоякимъ образомъ раздѣлить на градусы стержень этого ареометра, смотря потому должно ли его погрузить въ жидкость большей или меньшей плотности противу воды. Въ первомъ случаѣ его устроиваютъ такъ, чтобы въ перегнанной водѣ при 4° Ц. онъ погружался почти до верхняго конца своего ствола (фиг. 473), и точку, до которой онъ погрузится, означаютъ 0. Потомъ дѣлаютъ растворъ изъ 85 частей воды и 15 ч. морской соли; растворъ этотъ, будучи плотнѣе воды, заставитъ ареометръ подняться до извѣстной точки, которую и означаютъ числомъ 15. Промежутокъ между нулемъ и этою точкою раздѣляютъ на 15 равныхъ частей и продолжаютъ эти дѣленія до нижняго конца ствола. Дѣленія означаются чертами на небольшой полоскѣ бумаги, помѣщаемой внутри ствола.

Фиг. 473 и 474.



Устроенный такимъ образомъ ареометръ можетъ быть употребляемъ только для жидкостей плотнѣе воды, каковы кислоты и растворы солей; это въ одно и тоже время кислотомѣръ и солемѣръ. Для жидкостей менѣе плотныхъ, нежели вода, надобно чтобы 0 былъ внизу цилиндра (фиг. 474). Постоянными точками дѣленія будутъ тогда точки, до которыхъ погрузится ареометръ въ растворѣ 10 частей по вѣсу морской соли въ 90 частяхъ воды и потомъ въ перегнанной водѣ. При первой

точкѣ ставится 0, а при второй 10. Промежутокъ между этими точками раздѣляется на 10 равныхъ частей и это раздѣленіе продолжаютъ до верху ствола.

Оба описанные нами ареометра Боме раздѣлены на градусы совершенно произвольно и не показываютъ ни плотности жидкостей, ни количества растворенныхъ солей. Однако они употребляются съ большою выгодою для узнанія того, доведены ли жидкости до извѣстной степени сгущенія. Однимъ словомъ, они даютъ возможность составлять скоро смѣси или растворы въ данныхъ пропорціяхъ, хотя и несовершенно точно, но съ приближеніемъ достаточнымъ въ большемъ числѣ случаевъ. Напримѣръ при дѣланіи обыкновенныхъ сыроповъ опытомъ доказано, что солемѣръ Боме долженъ въ холоду показывать 35 дѣленій въ хорошо приготовленномъ сыропѣ. Слѣдовательно для фабриканта онъ можетъ служить указателемъ степени густоты его сиропа. Точно также въ морской водѣ, при температурѣ 22°, солемѣръ Боме показываетъ 3; что важно для обыкновенныхъ соляныхъ бань въ нѣкоторыхъ случаяхъ. Пропорціи морской соли, предписываемыя медиками вообще гораздо слабѣе тѣхъ, которыя даетъ ареометръ; т. е. искусственныя соляныя бани не имѣютъ степени густоты морской воды, отъ чего и бани эти не столь полезны какъ изъ морской воды.

Спиртометръ Гэ-Люссака, по формѣ, совершенно сходенъ съ ареометромъ Боме; онъ отличается только раздѣленіемъ на градусы, по которымъ онъ показываетъ не только насыщенность спирта, но и сколько на 100 частей, по объему, жидкость содержитъ воды и сколько чистаго спирта. Чтобы сдѣлать это раздѣленіе, погружаютъ алкоометръ сперва въ чистый спиртъ, т. е. въ спиртъ, имѣющій наименьшую плотность, и при точкѣ, до которой онъ погрузится, ставятъ 100; при чемъ стараются сдѣлать такой балластъ, чтобы эта точка приходилась близъ верхушки ствола. Потомъ дѣлаютъ смѣси, которыя на 100 частей по объему состоятъ изъ 95, 90, 85, 80 . . . . чистаго спирта и остальнаго количества воды. Въ эти смѣси погружаютъ послѣдовательно алкоометръ и при каждой точкѣ, до которой онъ погружается, ставятъ 95, 90, 85, 80 . . . . Для довершенія раздѣленія остается только каждый промежутокъ раздѣлить на пять равныхъ частей.

Если такимъ образомъ раздѣленный спиртомѣръ остановится въ спиртѣ на 58, то значитъ на 100 частей по объему этотъ спиртъ содержитъ 58 частей чистаго спирта и 42 части воды. Однако и здѣсь должно обращать вниманіе на температуру, ибо когда она увеличивается или уменьшается, то и плотность спирта измѣняется въ обратномъ смыслѣ. Поэтому Гэ-Люссакъ сдѣлалъ для своего алкоометра таблицы поправокъ, помощью которыхъ исправляются показанія спиртомѣра, смотря по температурѣ спирта, что заставляетъ при этомъ приборѣ употреблять термометръ.

По образцу спиртомѣра Гэ-Люссака дѣлятъ на градусы и солемѣры; посредствомъ этихъ градусовъ опредѣляютъ количество по

вѣсу той или другой соли, находящейся въ растворѣ. Нуль, во всѣхъ солемѣрахъ такого устройства, соотвѣтствуетъ чистой водѣ и дѣленія ставятся съ помощью погруженія солемѣра въ растворъ 5, 10, 15... граммовъ соли въ 95, 90, 85.... частяхъ воды до насыщенія раствора. Погружаютъ приборъ послѣдовательно въ эти растворы, точки погруженія означаютъ чрезъ 5, 10, 15.... и каждый промежутокъ между дѣленіями дѣлятъ еще на пять равныхъ частей

Эти приборы представляютъ ту невыгоду, что для каждаго рода соли нуженъ особый солемѣръ. Солемѣръ, раздѣленный напр. для углекислаго кали, дастъ совершенно ложныя показанія для растворовъ селитры, ляписа и всякой другой соли. Къ тому же, измѣненія температуры потребовали также для каждаго изъ нихъ таблицъ поправокъ, какъ это было для спиртомѣра Гэ-Люссака.

По тому же правилу устроиваются и ареометры, служащіе для измѣренія количества воды, подмѣшиваемой въ молоко и въ вино. Но эти приборы не приносятъ существенной пользы, потому что плотности молока и вина весьма различны, даже если эти жидкости и совершенно чисты, и потому можно было бы приписать подлогу то, что происходитъ единственно отъ дурнаго качества естественнаго молока или вина.

Въ медицинѣ употребляютъ ареометры устроенные на тѣхъ же началахъ для мочи.

Ареометрамъ придаютъ также дѣленія, позволяющія опредѣлять относительную плотность жидкости по числу градусовъ, до которыхъ они погружаются въ ней. Ареометры съ такими дѣленіями называются *густомѣрами*. Мы опишемъ здѣсь *густомѣръ* Гэ-Люссака и вновь устроенный густомѣръ Руссо.

Густомѣръ Гэ-Люссака есть собственно ареометръ Боме, съ тою только разницею, что дѣленія перваго измѣняются, судя по тому, назначается ли приборъ для жидкостей болѣе или менѣе плотныхъ противу воды. Въ первомъ случаѣ его нагружаютъ такимъ образомъ, чтобы въ очищенной водѣ онъ погружался до одной изъ верхнихъ точекъ ствола. Послѣ того берутъ жидкость, которой плотность извѣстна и болѣе противу воды, напр. въ отношеніи 4 къ 3; въ эту жидкость опускаютъ приборъ, который погружается въ ней уже менѣе предъидущаго. Положимъ, что V и v представляютъ объемы частей погруженныхъ въ воду и во вторую жидкость; объемы эти, какъ мы видѣли при показаніи законовъ плаванія и погруженія тѣлъ, находятся въ обратномъ отношеніи къ плотностямъ этихъ жидкостей; слѣдовательно $\frac{V}{v}=\frac{4}{3}$, откуда $v=\frac{3}{4}V$. Если чрезъ 100 выразить объемъ V, то объемъ v будетъ 75. Поэтому надъ найденными нами точками надписываютъ 100 и 75; объемъ густомѣра между двумя этими точками, на основаніи величины полученной для v, будетъ составлять четверть отъ V; на этомъ основаніи пространство между этими точками дѣлятъ на 25 равныхъ частей, изъ которыхъ каждая равна $^1/_{25}$ цѣлаго пространства или $^1/_{100}V$, т. е. объема погруженнаго въ чистую воду. Потомъ продолжаютъ дѣленія до нижней части трубки, которая на всемъ протяженіи должна имѣть одинаковый діаметръ.

Положимъ, что мы желаемъ опредѣлить плотность жидкости, напр. сѣрной кислоты. Для этого погружаютъ въ нее густомѣръ и если онъ опускается до 54-го дѣленія, то это значитъ, что объемъ вытѣсненной жидкости выражается числомъ 54 въ томъ случаѣ, когда объемъ вытѣсненной воды $V=100$. —

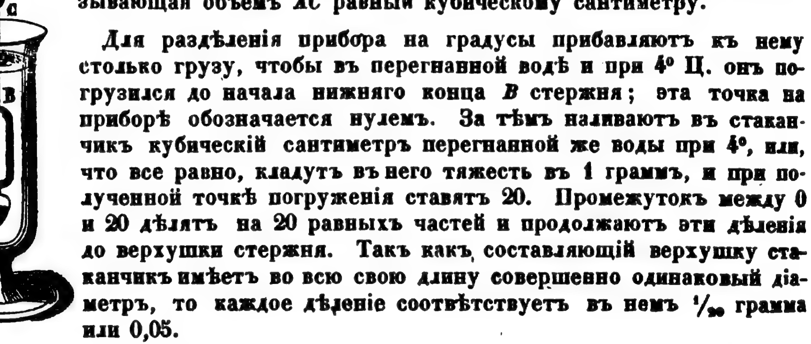


Какъ всякое плавающее тѣло вытѣсняетъ вѣсъ жидкости равный его вѣсу, то объемъ воды V или 100, или объемъ сѣрной кислоты 54, имѣютъ одинъ и тотъ же вѣсъ, одинаковый съ вѣсомъ прибора; но при равныхъ вѣсахъ объемы двухъ тѣлъ находятся въ обратномъ отношеніи къ ихъ плотностямъ. Слѣдовательно, если x выражаетъ плотность сѣрной кислоты, при взятіи плотности воды за единицу, то мы получимъ $\frac{x}{1} = \frac{100}{54}$, откуда $x = \frac{100}{54} = 1,85$.

Если густомѣръ назначается для жидкостей меньшей плотности противу воды, то должно нагружать его такъ, чтобы черта 100, соотвѣтствующая перегнанной водѣ, находилась на нижней части трубки. Послѣ того прикрѣпляютъ къ верхней оконечности трубки вѣсъ, равный четверти вѣса прибора, и какъ вѣсъ одного прибора выражается числомъ 100, то вѣсъ его по прибавленіи груза = 125. Это послѣднее число отмѣчаютъ соотвѣтственно новой точкѣ погруженія и раздѣляютъ промежутокъ между точками 100 и 125 на 25 равныхъ частей, которыя теперь продолжаются до верху трубки.

Густомѣръ Гэ-Люссака требуетъ, чтобы жидкость находилась въ достаточномъ количествѣ для покрытія стержня, потому что послѣдній довольно объемистъ. Но въ извѣстныхъ случаяхъ, въ физіологіи напримѣръ, когда опытъ производится надъ жидкостями животнаго организма, можетъ случиться, что эти жидкости находятся въ весьма ограниченномъ количествѣ, напр. всего нѣсколько граммовъ. Въ подобныхъ случаяхъ можетъ быть употребленъ съ пользою густомѣръ Руссо. Этотъ приборъ имѣетъ форму ареометра Боме, но въ немъ верхушка стержня состоитъ изъ стаканчика A (фиг. 475), въ который и наливаютъ опредѣляемую жидкость. На стѣнкѣ этого стаканчика находится черта, показывающая объемъ AC равный кубическому сантиметру.

Фиг. 475.



Для раздѣленія прибора на градусы прибавляютъ къ нему столько грузу, чтобы въ перегнанной водѣ и при 4° Ц. онъ погрузился до начала нижняго конца B стержня; эта точка на приборѣ обозначается нулемъ. За тѣмъ наливаютъ въ стаканчикъ кубическій сантиметръ перегнанной же воды при 4°, или, что все равно, кладутъ въ него тяжесть въ 1 граммъ, и при полученной точкѣ погруженія ставятъ 20. Промежутокъ между 0 и 20 дѣлятъ на 20 равныхъ частей и продолжаютъ эти дѣленія до верхушки стержня. Такъ какъ составляющій верхушку стаканчикъ имѣетъ во всю свою длину совершенно одинаковый діаметръ, то каждое дѣленіе соотвѣтствуетъ въ немъ $^1/_{20}$ грамма или 0,05.

Если хотятъ опредѣлить плотность какой нибудь жидкости, напр. желчи, то наливаютъ ее въ стаканчикъ до черты на его стѣнкѣ и когда приборъ погрузится, напр. до 20,5 грам., то изъ этого слѣдуетъ, что вѣсъ, заключающейся въ стаканчикѣ желчи, равенъ $0,05 \times 20,5$ граммовъ или 1,025 граммовъ, то есть, принимая вѣсъ воды равнымъ 1, вѣсъ равнаго ей объема желчи будетъ 1,025. Такимъ образомъ послѣднее число представляетъ плотность желчи относительно воды, потому что, при одинаковыхъ объемахъ, вѣсы пропорціональны плотностямъ.

Вліяніе тяжести на движеніе жидкихъ тѣлъ.

§ 152. Различныя движенія, производимыя жидкостями, составляютъ особенный отдѣлъ физики, называемой *Гидродинамикой*. Предметъ гидродинамики.

Извѣстная часть этого отдѣла, занимающаяся собственно искусствомъ проведенія и возвышенія водъ, извѣстна подъ названіемъ *Гидравлики* (отъ греческихъ словъ: вода и труба); слѣдовательно можно сказать, что гидравлика есть практическая часть гидродинамики.

Въ гидродинамикѣ, какъ и въ гидравликѣ, предполагается, что жидкости совершенно несжимаемы и удободвижимы. Но какъ жидкости обладаютъ этими свойствами только несовершенно, то очевидно, что и теорическіе выводы, полученные на основаніи этого предположенія, только приблизительно согласуются съ опытами.

Кромѣ того движеніе жидкостей представляетъ многіе другіе случаи: 1) истеченіе бываетъ изъ резервуара съ тонкими стѣнками, т. е. такими, которыхъ толщина меньше половины самаго наименьшаго протяженія въ отверстіи; 2) изъ резервуара, снабженнаго приставляемыми трубками; 3) чрезъ трубы большаго или малаго діаметра; 4) по руслу, какъ въ рѣкахъ.

§ 153. Возмемъ сосудъ съ тонкими стѣнками, наполненный водою. Истеченіе жидкостей изъ сосудовъ.
Если въ какой нибудь стѣнкѣ сдѣлать небольшое отверстіе, то вода будетъ вытекать отъ вліянія двухъ силъ: тяжести, дѣйствующей въ вертикальномъ направленіи, и давленія жидкости, дѣйствующаго перпендикулярно стѣнкѣ и пропорціонально глубинѣ. Вытекающая такимъ образомъ струя называется *жилою*.

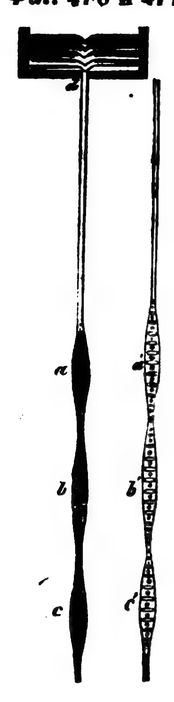
Если отверстіе сдѣлано въ днѣ сосуда, то и тяжесть и внутреннее давленіе дѣйствуютъ въ одномъ и томъ же направленіи, а потому жила будетъ вертикальна и прямолинейна. Но если отверстіе сдѣлано въ стѣнкѣ вертикальной или наклонной, то силы эти дѣйствуютъ на жидкость по двумъ направленіямъ — по вертикальному и по горизонтальному или наклонному. Въ этомъ случаѣ жидкость повинуется ихъ равнодѣйствующей, жила принимаетъ криволинейное направленіе и внѣ сопротивленія воздуха описывала бы, подобно всѣмъ брошеннымъ тѣламъ, кривую, извѣстную подъ именемъ параболы.

§ 154. Жила представляетъ замѣчательныя явленія, которыя изучены Саваромъ. Образованіе жилы.

Она состоитъ изъ двухъ различныхъ частей: одна изъ нихъ, касающаяся отверстія, совершенно спокойна, прозрачна и имѣетъ видъ самаго чистаго хрустальнаго цилиндра, другая напротивъ находится въ движеніи и представляетъ въ нѣкоторыхъ другъ отъ друга раз-

стояніяхъ удлиненные, правильно расположенные эллипсоиды называемые *желудками* (фиг. 476).

Фиг. 476 и 477.



Эта вторая часть жилы не непрерывна, потому что когда заставляютъ вытекать жидкость непрозрачную, какова ртуть, то можно видѣть предметы сквозь жилу. Саваръ нашелъ, что желудки состоятъ изъ отдѣльныхъ шариковъ, вытянутыхъ въ поперечномъ направленіи жилы, и что сжатія или *узлы* напротивъ образованы изъ шариковъ, вытянутыхъ по длинѣ жилы, какъ это представлено на фигурѣ 477-й. — Саваръ доказалъ, кромѣ того, наблюдая жилу при сильномъ свѣтѣ, что прозрачная ея часть состоитъ изъ кольцеобразныхъ расширеній, начинающихся у отверстія и продолжающихся съ равными промежутками до второй части жилы, гдѣ они отдѣляются другъ отъ друга. Эти расширенія происходятъ отъ періодическихъ толчковъ въ отверстіи и число ихъ находится въ прямомъ отношеніи къ скорости истеченія и въ обратномъ къ діаметру отверстія.

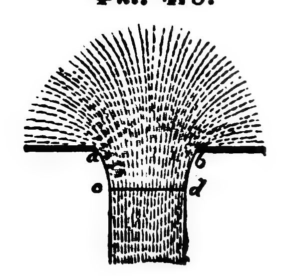
Толчки при отверстіи иногда могутъ быть достаточно быстры для произведенія звука, который усиливается, если жилѣ противопоставить какую нибудь натянутую перепонку. Саваръ, извлекая изъ одного музыкальнаго инструмента звукъ, одинаковый со звукомъ жилы, измѣнилъ послѣднюю такъ, что ея желудки и узлы получили большую правильность, а прозрачная часть почти совершенно исчезла.

Наконецъ этотъ же ученый нашелъ, что сопротивленіе воздуха не оказываетъ вліянія на форму и размѣры жилы точно также, какъ и на число толчковъ. Онъ замѣтилъ также, что образованіе горизонтальныхъ или наклонныхъ жилъ не отличается существенно отъ образованія жилъ, падающихъ вертикально.

Сжатіе жилы. Во время истеченія жидкости чрезъ круглыя отверстія въ тонкой стѣнкѣ, жила сохраняетъ по длинѣ своей круглую форму, такъ что вездѣ въ поперечномъ разрѣзѣ даетъ круги; но діаметръ у этихъ круговъ неодинаковъ. Сначала онъ равенъ діаметру отверстія, потомъ онъ быстро уменьшается и на разстояніи, почти равномъ діаметру отверстія, сѣченіе жилы даетъ уже только около $^2/_3$ сѣченія въ отверстіи. Если жила направлена сверху внизъ, какъ показано на фиг. 476-й, то уменьшеніе діаметра продолжается медленно до самой непрозрачной части. Если она горизонтальна, то уменьшеніе продолжается нечувствительно. Если наконецъ она направлена снизу вверхъ подъ угломъ между 25° и 45°, то она чувствительно сохраняетъ тотъ же діаметръ. Но когда уголъ наклоненія превышаетъ 45°, то сѣченіе жилы увеличивается отъ сжатой части до непрозрачной. Слѣдовательно есть сѣченіе меньше своего предъидущаго и послѣдующаго; оно называется *сжатымъ сѣченіемъ*.

Сжатіе жилы происходитъ отъ сходящихся направленій, которыя

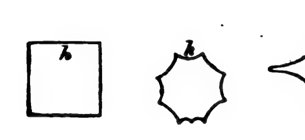
Фиг. 478.



принимаютъ частицы жидкости внутри сосуда при стремленіи своемъ къ отверстію (фиг. 478). Для нагляднаго обнаруженія этого явленія опускаютъ въ воду какія нибудь легкія, нетонущія въ ней вещества и производятъ истеченіе жидкости изъ прозрачнаго сосуда съ тонкими стѣнками. Если отверстіе имѣетъ одинъ сантиметръ въ діаметрѣ, то видно какъ, на разстояніи 2 или 3 сантиметровъ отъ него, частицы воды направляются со всѣхъ сторонъ къ этому отверстію, описывая кривыя линіи и стремясь къ нему какъ бы къ центру притяженія. Эти направленія продолжаются нѣсколько и внѣ сосуда, и отъ того водяная жила постепенно съуживается до той точки, въ которой частицы воды, отъ взаимнаго дѣйствія другъ на друга, принимаютъ параллельныя или расходящіяся направленія. Жила образуетъ такимъ образомъ родъ усѣченнаго конуса, котораго основаніе есть отверстіе, а площадь сѣченія — сжатое сѣченіе.

До сихъ поръ мы предполагали, что отверстіе кругло. Если же оно представляетъ многоугольникъ или имѣетъ другую какую нибудь форму, отличную отъ круга, то струя не сохраняетъ уже формы отверстія и видъ жилы послѣдовательно измѣняется по мѣрѣ удаленія

Фиг. 479, 480 и 481.



отъ отверстія; но и при этомъ случаѣ вода образуетъ желудки и узлы. Жила, выходящая въ горизонтальномъ направленіи изъ квадратнаго отверстія, имѣетъ въ различныхъ удаленіяхъ отъ послѣдняго разрѣзы, представленные на фиг. 479, 480 и 481.

§ 155. Посмотримъ теперь, по какимъ законамъ совершается скорость истеченія изъ отверстія въ тонкой стѣнкѣ. Если бы слой жид- Скорость истеченія жидкостей изъ отверстій.

Фиг. 482.



кости $acdb$ (фиг. 482), находящійся надъ отверстіемъ ab, могъ падать свободно книзу, не претерпѣвая давленія частицъ, находящихся надъ нимъ, то на основаніи законовъ свободнаго паденія тѣлъ, онъ долженъ вытекать изъ сосуда со скоростію, соотвѣтственною его высотѣ. Поэтому, если h есть высота слоя ac, то скорость $v = \sqrt{2gh}$.

Но какъ слой этотъ выноситъ давленіе верхнихъ частицъ, то и скорость его зависитъ не отъ одной только высоты его ac, но отъ цѣлаго столба $axgb$, лежащаго отвѣсно надъ нимъ. Это показываетъ, что скорость истеченія воды изъ всякаго сосуда должна уменьшаться по мѣрѣ уменьшенія высоты заключающейся въ немъ воды.

Слѣдовательно ускоряющая сила тяжести g будетъ относиться къ ускоряющей силѣ g', служащей причиною дѣйствительнаго паденія частицъ жидкости, какъ ac къ ax, или какъ h къ s, гдѣ подъ s разумѣется высота давленія,

т. е. $h : s = g : g'$; откуда ускоряющая сила, дѣйствующая на вытекающій слой жидкости, или $g' = \frac{g}{h} . s$. Но если ускоряющая сила, дѣйствующая на вытекающій слой, равна не g, но g', то скорость истеченія $v' = \sqrt{2g'h}$, и если мы въ эту величину для v' вставимъ выраженіе, полученное для g', то будемъ имѣть для скорости истеченія $v' = \sqrt{2gs}$.

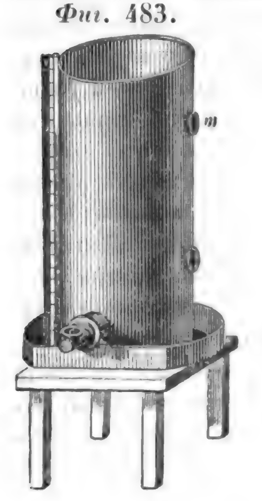
А какъ это выраженіе соотвѣтствуетъ скорости пріобрѣтенной тѣломъ, падающимъ съ высоты s, то мы можемъ вывести для скорости истеченія жидкостей изъ отверстій слѣдующій законъ:

Частицы жидкости, выходя изъ отверстія, имѣютъ скорость, соотвѣтствующую скорости тѣла, падающаго свободно въ пустотѣ съ высоты равной разстоянію отъ центра отверстія до поверхности жидкости въ сосудѣ.

Законъ этотъ, извѣстный подъ именемъ торричеліевой теоремы, былъ выведенъ италіанскимъ ученымъ Торричели въ 1643 г.

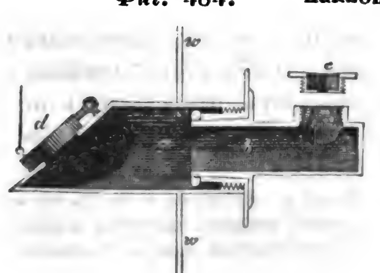
Для повѣрки торричеліевой теоремы на опытѣ употребляютъ сосудъ, котораго объемъ значительно превышаетъ величину отверстія. Отверстія, устроиваемыя какъ въ днѣ, такъ и въ бокахъ сосуда, состоятъ изъ приставленныхъ тонкихъ металлическихъ пластинокъ, потому что, если эти отверстія находятся въ толстой стѣнѣ, то скорость истеченія значительно бы уменьшилась отъ тренія объ стѣнки отверстія. Весьма удобенъ для опытовъ надъ истеченіемъ жидкостей сосудъ представленный на фигурѣ 483-й.

Фиг. 483.



Онъ состоитъ изъ жестянаго цилиндра со стеклянной трубкой, означающей въ цилиндрѣ уровень воды, который легко замѣтить по дѣленіямъ вертикальной скалы, приставленной къ трубкѣ. Въ боковой стѣнѣ сосуда устроено два отверстія m и n; первое изъ нихъ лежитъ въ разстояніи 4, а послѣднее въ разстояніи 16 дюймовъ отъ верхней точки скалы или отъ нуля. Третье отверстіе находится на днѣ сосуда, а чтобы дать возможность водѣ истекать изъ этого отверстія, продѣлываютъ дыру въ рединѣ стола, на которомъ лежитъ сосудъ. Четвертое отверстіе c сдѣлано въ короткой горизонтальной трубкѣ, вращающейся на горизонтальной оси для того, чтобы можно было давать вытекающей струѣ произвольное наклоненіе къ горизонту. Устройство этой послѣдней трубки для большей ясности представлено особо на фиг. 484. Чрезъ боковую стѣнку w проходитъ трубка a, оканчивающаяся раздѣленнымъ кругомъ. Въ эту трубку входитъ другая трубка b, вращающаяся на своей оси. Съ помощію вращенія трубки b можно обращать отверстіе c

Фиг. 484.



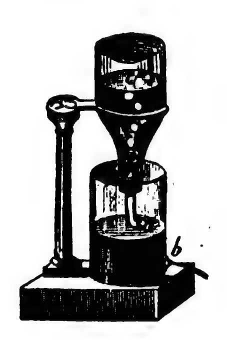
кверху, книзу и вбокъ. — Раздѣленный кругъ, находящійся на концѣ трубки *a*, служитъ для точнаго расположенія отверстія, изъ котораго вытекаетъ вода. Точно такія же трубки вставляются въ отверстія *m* и *n*. Клапанъ *d*, поднимающійся посредствомъ бичевки, позволяетъ по произволу прекращать и возстановлять истеченіе воды.

Описанный нами приборъ для повѣрки торричеліевой теоремы имѣетъ то неудобство, что по мѣрѣ истеченія жидкости изъ сосуда высота ея постепенно уменьшается. Слѣдовательно, желая сравнить количества воды, вытекающей въ теченіи извѣстнаго времени изъ двухъ сосудовъ, имѣющихъ одинаковое отверстіе и двѣ различныя высоты жидкостей, мы встрѣчаемъ то неудобство, что поверхность воды постоянно понижается въ каждомъ изъ нихъ, а вмѣстѣ съ этимъ пониженіемъ должна измѣняться во время опыта самая скорость истеченія. Для устраненія этого неудобства прибѣгаютъ къ сосудамъ, дающимъ постоянную скорость истеченія, т. е. къ такимъ сосудамъ, которые позволяютъ сохранять неизмѣнно высоту жидкости надъ отверстіемъ. Этого достигаютъ многими способами:

1) Наливая въ резервуаръ воды нѣсколько больше противу того, сколько вытекаетъ ея чрезъ отверстіе; избытокъ стекаетъ или чрезъ края, или чрезъ сдѣланное для того особенное отверстіе.

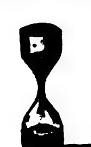
2) Посредствомъ прибора представленнаго на фиг. 485-й. Онъ составляется слѣдующимъ образомъ: наполненную водою стклянку *c* опрокидываютъ книзу такимъ образомъ, чтобы съуженное отверстіе трубки, воткнутой въ пробку, погружалось нѣсколько ниже поверхности воды, находящейся въ стаканѣ *a*. По мѣрѣ убыли воды чрезъ отверстіе трубки *b*, стаканъ наполняется свѣжимъ количествомъ ея изъ стклянки *c*, потому что изъ трубокъ обоихъ сосудовъ вытекаетъ одновременно равное количество воды. А какъ высота давленія въ сосудѣ *a* остается постоянно одна и таже, то ясно, что и самая скорость истеченія будетъ одинакова.

Фиг. 485.



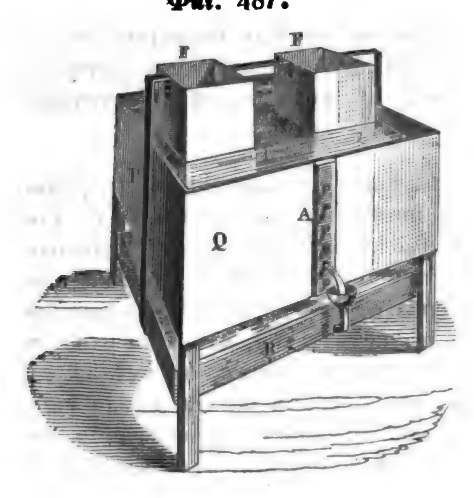
Какъ истеченіе изъ сосуда *c* происходитъ равномѣрно, то очевидно, что количество вытекающей изъ него воды можетъ служить измѣреніемъ для времени. Если на приборѣ *c* провести равныя дѣленія, то онъ представитъ собою *водяные часы*, имѣющіе сходство съ *песочными часами*, представленными на фиг. 486.

Фиг. 486.



3) Посредствомъ *плавательнаго прибора Проки*. Этотъ приборъ, представленный на 487-й фиг., состоитъ изъ наполненнаго водою резервуара *PQ*, въ которомъ находятся два плавателя *F*, *F*, соединенныхъ между собою желѣзной полосою, продолженною и загнутою съ обоихъ концовъ для поддержанія другаго подвижнаго резервуара *B*, лежащаго подъ *PQ*. Резервуаръ *B* составляетъ одно цѣлое съ ящиками *F*, *F*. Въ доскѣ A, составляющей часть стѣнки резервуара *PQ*, продѣлано нѣсколько отверстій различной величины. Устроенная подъ ними воронка проводитъ вытекающую жидкость въ резервуаръ *B*. Положимъ, что открыто одно изъ отверстій доски A и что изъ него выпущенъ одинъ фунтъ воды въ резервуаръ *B*; ясно, что отъ этого долженъ увеличиться однимъ фунтомъ вѣсъ соединенныхъ съ нимъ плавателей: однимъ словомъ, вѣсъ резервуара и плавателей постоянно увеличивается вѣсомъ воды, выпущенной изъ резервуара *PQ*. Это увеличеніе вѣса, на основаніи законовъ равновѣсія плавающихъ тѣлъ, заставляетъ ящики *F* и *F* погружаться все болѣе и болѣе, по мѣрѣ продолженія истеченія воды изъ резервуара *PQ*. Но чѣмъ глубже погружается тѣло въ воду, тѣмъ, какъ мы уже знаемъ, большее количество вытѣсняется имъ. Слѣдовательно ящики *F* и *F*, по прошествіи извѣстнаго времени, должны вытѣснить объемъ воды, который болѣе противу первоначально вытѣсненнаго объема всѣмъ объемомъ жидкости, выпущенной въ это время изъ резервуара *PQ*. Отсюда слѣдуетъ, что поверхность воды въ сосудѣ *PQ* будетъ оставаться постоянною.

Фиг. 487.

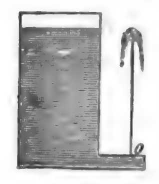


4) Съ помощію *сифона* и *маріотовой стклянки*, описаніе которыхъ мы сдѣлаемъ впослѣдствіи.

Самая же повѣрка скорости истеченія производится на опытѣ различными способами.

1) *Первый способъ*, заключающійся въ разсмотрѣніи вертикальной жилы основанъ на томъ, что *всякое тѣло, брошенное съ извѣстною скоростію снизу вверхъ, поднимается до высоты, которая необходима для того, чтобы падающее съ ней тѣло могло пріобрѣсти ту же самую скорость*. Представимъ себѣ, что истеченіе производится снизу вверхъ, какъ показываетъ фиг. 488; мы увидимъ, что лучъ воды достигнетъ почти до высоты жидкости въ сосудѣ и если онъ не достигаетъ этой высоты совершенно, то это происходитъ отъ сопротивленія воздуха и отъ столкновенія частицъ обратно падающей жид-

Фиг. 488.



кости. А если лучъ воды достигаетъ одной высоты съ жидкостію въ сосудѣ, то это значитъ, что при самомъ поднятіи своемъ онъ обладалъ тою скоростію, которая соотвѣтствуетъ высотѣ паденія тѣла, опускающагося отъ поверхности жидкости до точки исхода луча.

На этомъ основано устройство *естественныхъ фонтановъ*. Выходящая изъ приставной трубки вода при поднятіи своемъ встрѣчаетъ сопротивленіе со стороны воздуха, обратно падающей воды и потому не можетъ достигнуть должной высоты, чему препятствуетъ также треніе и прилипаніе воды къ стѣнкамъ трубки. Обстоятельство это заставляетъ давать иногда восходящему лучу не отвѣсное, но наклонное положеніе. Для полученія наибольшей высоты жилы, діаметръ проводныхъ трубокъ долженъ возрастать вмѣстѣ съ ихъ длиною. Отверстія лучше дѣлать въ тонкой стѣнѣ, потому что въ нихъ жила поднимается на большую высоту и бываетъ правильнѣе и прозрачнѣе. Коническія трубки также даютъ струи цѣльныя и прозрачныя, но высота жилы въ нихъ составляетъ только отъ 0,8 до 0,9 высоты струи изъ отверстія въ тонкой стѣнкѣ. Цилиндрическія трубки не даютъ прозрачныхъ струй и высота ихъ соотвѣтствуетъ 0,66 высотѣ струй изъ тонкихъ стѣнокъ. Фонтаны.

Въ городахъ, къ которымъ невозможно провести воду изъ достаточно возвышающихся водохранилищъ, вода собирается въ высоко помѣщенные резервуары посредствомъ насосовъ, значеніе которыхъ будетъ объяснено нами впослѣдствіи. Изъ резервуаровъ же проводятъ воду въ дома или въ другіе бассейны посредствомъ трубъ.

Воды рѣкъ, озеръ и даже морей проходятъ весьма часто чрезъ различныя разщелины, соединяющіяся или со дномъ, или съ боками бассейновъ ихъ, во внутренность прилежащаго къ нимъ материка. Эта вода, находящаяся на извѣстной глубинѣ подъ землею, стремится достигнуть до одинаковой высоты съ водами рѣкъ, озеръ и морей, находящихся въ соединеніи съ нею. Вотъ почему вода колодцевъ, лежащихъ вблизи питающихъ ихъ бассейновъ, поднимается и опускается всякій разъ съ поднятіемъ и опусканіемъ воды въ послѣднихъ.

Вода, находящаяся внутри земли, можетъ пополняться тою водою, которая просачивается чрезъ землю послѣ дождя; достигнувъ большаго уровня противу сообщающагося съ нею бассейна, часть ея переходитъ къ послѣднему и незамѣтно увеличиваетъ количество заключающейся въ немъ воды.

Часть воды, падающая на землю въ видѣ дождя, просачивается обыкновенно въ ней до тѣхъ поръ, пока не встрѣтитъ такого слоя земли, который воспротивится дальнѣйшему проходу ея. Надъ этими слоями большею частію лежатъ скважистые слои земли. Вода проходитъ чрезъ послѣдніе и собирается въ нижнихъ частяхъ ихъ; отсюда она достигаетъ поверхности земли различнымъ образомъ; такъ напр. она выходитъ наружу или по горизонтальному, или по наклонному направленію. Въ другихъ же случаяхъ, пропускающіе ее слои имѣютъ форму сообщающейся трубки: вода, просачивающаяся по этимъ слоямъ, поднимается кверху и достигаетъ при этомъ иногда земной поверхности.

Такимъ образомъ происходятъ естественные ключи. Такіе водопроводные слои встрѣчаются весьма часто въ природѣ, иногда они попадаются въ промежуткѣ между двумя другими слоями, непропускающими воду. Если прорыть отверстіе въ землѣ до встрѣчи съ низменными пунктами слоя, пропускающаго воду, то послѣдняя по закону соединяющихся трубокъ, будетъ стремиться къ достиженію одинаковаго уровня съ высшими точками слоя.

Прорытыя такимъ образомъ отверстія, составляютъ родъ колодцевъ, изъ которыхъ вода обыкновенно бьетъ кверху; такіе колодцы называются *артезіанскими*, по имени старинной французской провинціи Артуа, гдѣ было устроено ихъ очень много. Въ провинціи этой встрѣчаютъ колодцы, основаніе которыхъ относится къ концу XII вѣка. Но подобные колодцы были устраиваемы,

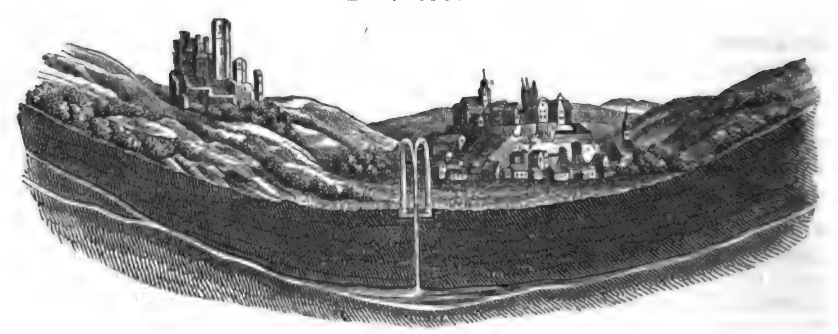
какъ извѣстно, гораздо ранѣе того въ Китаѣ и въ Египтѣ. Воды, питающія артезіанскіе колодцы, проходятъ иногда на протяженіи отъ 120 до 180 верстъ. Глубина же ихъ бываетъ весьма различна и измѣняется съ мѣстностію.

Извѣстный гренельскій колодезь, въ Парижѣ, имѣетъ до 548 метровъ глубины. Это одинъ изъ самыхъ глубокихъ и обильныхъ колодцевъ.

Вода, доставляемая имъ, во всякое время года равна 27° Ц. Основываясь на законѣ постепеннаго увеличенія температуры слоевъ земныхъ, мы имѣемъ право вывести заключеніе, что тѣже самые колодцы доставляли бы воду цѣлый круглый годъ въ 32°, если бы глубина ихъ была 15° метрами болѣе настоящей.

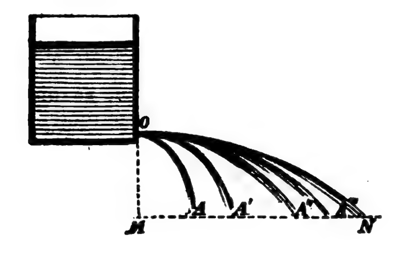
На фиг. 489-й представленъ разрѣзъ артезіанскаго колодца.

Фиг. 489.



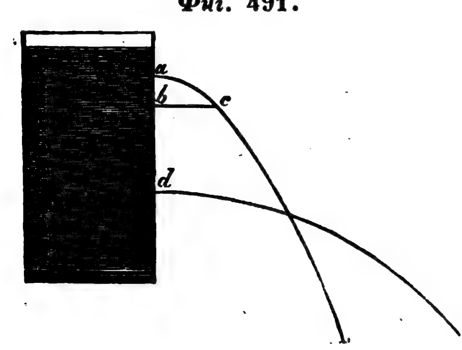
Второй способъ повѣрки торричеліевой теоремы заключается въ разсмотрѣніи *горизонтальной* жилы. Всякій лучъ воды, вытекающей *по горизонтальному* направленію, описываетъ параболу, которой видъ зависитъ отъ скорости истеченія. И въ самомъ дѣлѣ, при самомъ началѣ истеченія воды, какъ показываетъ фигура 490-я, мы получимъ параболу OA''', видъ которой можетъ быть вычисленъ на основаніи уравненія, выведеннаго нами для скорости истеченія $v=\sqrt{2gh}$, гдѣ подъ h должно разумѣть отвѣсное разстояніе точки O отъ уровня воды въ сосудѣ. При постепенномъ уменьшеніи скорости мы увидимъ, что парабола будетъ постепенно приближаться къ отвѣсной линіи OM. Если начертить на бумагѣ параболическій путь, который долженъ принимать лучъ вытекающей воды при извѣстномъ разстояніи отверстія отъ уровня воды, то по приложеніи листа бумаги къ вытекающему лучу, мы найдемъ согласіе теоретическаго вывода съ опытомъ.


Фиг. 490.



Теоретическое начертаніе параболы производится слѣдующимъ образомъ. Если отверстіе a (фиг. 491) находится въ разстояніи 4'' или $^1/_3$ фута подъ уровнемъ воды, то на основаніи торричеліевой теоремы скорость истеченія будетъ равна $\sqrt{2.30.^1/_3}=4,47'$. Слѣдовательно, если частицы воды въ извѣстный моментъ оставляютъ отверстіе, то по прошествіи секунды онѣ будутъ находиться въ разстояніи 4,47' отъ вертикальной стѣнки; въ $^2/_{10}$ секунды онѣ будутъ въ разстояніи $0,894' = 10,7''$. Въ $^2/_{10}$ секунды вода должна падать книзу на 7,2'', что

Фиг. 491.



можно легко получить, вставивъ вмѣсто t — 0,2, а вмѣсто g — 30′ въ уравненіе $s = g/_2 t^2$; поэтому, если начиная отъ отверстія a по вертикальному направленію отложить линію $ab = 7{,}2''$, то горизонтальная линія, проведенная изъ точки b, должна встрѣтить лучъ воды по прошествіи $^2/_{10}$ секунды въ разстояніи 10,7′′. При опытахъ отъ тренія величина bc получается менѣе найденной по вычисленію.

3) Можно повѣрить торричеліеву теорему также, принимая во вниманіе сжатіе жилы. Для этого вымѣряютъ количество воды, вытекающее съ постоянною скоростію изъ даннаго отверстія въ извѣстную единицу времени; потомъ, измѣряя сжатіе жилы квадратной единицей и помноживъ полученное число на скорость, вычисленную въ линейной мѣрѣ по торричеліевой теоремѣ, получаютъ въ кубической мѣрѣ объемъ равный тому, который мы получили отъ дѣйствительнаго измѣренія. Если обѣ эти величины согласны между собою, то ясно, что вычисленная скорость должна быть равна дѣйствительной.

§ 156. Изъ торричеліевой теоремы выводятся слѣдующія два заключенія: Слѣдствія изъ торричеліевой теоремы.

1) Какъ всѣ тѣла падаютъ въ пустотѣ съ одинаковою скоростью, то *скорость истеченія не зависитъ отъ плотности жидкости*. Вода и ртуть, напримѣръ, должны вытекать съ одинакою скоростью, если только высота поверхности надъ отверстіемъ одинакова для обѣихъ жидкостей. Въ самомъ дѣлѣ, опытомъ дознано, что при равныхъ высотахъ и одинакаго діаметра отверстіяхъ въ одно и тоже время вытекаютъ равные объемы этихъ жидкостей.

2) *Скорости истеченія, при выходѣ изъ отверстій, пропорціональны квадратнымъ корнямъ изъ высоты поверхностей надъ центромъ отверстія.*

Это значитъ, что если высоты водяной поверхности будутъ 49, 36, 25, 16, 9, 4 и 1, то скорости вытекающей воды будутъ относиться между собою какъ квадратные корни этихъ чиселъ, т. е. какъ 7, 6, 5, 4, 3, 2 и 1.

Выводъ этотъ есть прямое слѣдствіе законовъ дѣйствія тяжести. Дѣйствительно, мы видѣли, что если какое нибудь тѣло падаетъ въ пустотѣ, то скорость къ концу извѣстнаго времени пропорціональна квадратному корню изъ высоты паденія.

Если означимъ чрезъ v скорость въ отверстіи, чрезъ h вертикальное разстояніе его центра отъ поверхности жидкости, чрезъ g напряженіе тяжести, то получимъ $v = \sqrt{2gh}$. Таково выраженіе скорости, полученное изъ вычисленій.

На основаніи величины, выведенной нами для теоретической скорости, подъ количествомъ воды, вытекающимъ изъ отверстія и называемымъ обыкновенно *потерею*, должно разумѣть объемъ жидкости, равный объему цилиндра или призмы, имѣющей основаніемъ отверстіе, а высотою теоретическую скорость, полученную по торричеліевой теоремѣ. Поэтому потеря, выведенная теорически, есть ни что иное, какъ произведеніе изъ площади отверстія на теорическую скорость. Вычисленная такимъ образомъ *потеря* называется *теоретическою*, потому что на самомъ дѣлѣ объемъ жидкости, выходящей въ одну секунду и называемый *дѣйствительной потерею*, бываетъ менѣе противу того, какъ показываетъ вычисленіе.

Эта разница между дѣйствительной и теорической потерею показываетъ, что не всѣ водяныя частицы проходятъ чрезъ отверстіе со скоростію, соотвѣтствующею высотѣ давленія. Только посрединѣ сѣченія, сдѣланнаго въ отверстіи, частицы воды обладаютъ этою скоростію; скорость же частицъ по краямъ этого сѣченія должна быть менѣе, въ чемъ не трудно убѣдиться изъ слѣдующаго разсужденія.

Въ большомъ сосудѣ съ узкимъ отверстіемъ на днѣ, мы можемъ разсматривать всю воду, за выключеніемъ частицъ прилежащихъ къ самому отверстію, какъ за массу находящуюся въ покоѣ. Слои воды, вытекающіе другъ за другомъ, начинаютъ свое движеніе неодновременно; передніе слои пріобрѣтаютъ наибольшую скорость въ то время, когда задніе начинаютъ только двигаться. Вслѣдствіе того долженъ бы произойти разрывъ между слѣдующими другъ за другомъ слоями, если бы только могло между ними образоваться безвоздушное пространство. Но какъ это не можетъ произойти на самомъ дѣлѣ, то отдѣльные слои вытягиваются болѣе въ длину и уменьшаются въ поперечникѣ, по мѣрѣ же уменьшенія поперечника этихъ слоевъ, прибываютъ къ нимъ частицы воды съ боковъ. А какъ послѣднія начинаютъ свое движеніе, перпендикулярное къ отверстію, только спустя извѣстное время, то очевидно, что онѣ должны прибывать къ отверстію съ меньшею скоростію противу центральныхъ частицъ.

Такимъ образомъ въ моментъ оставленія отверстія, средина вытекающей струи имѣетъ скорость соотвѣтствующую высотѣ паденія, окружающія же ее частицы имѣютъ въ тоже время меньшую скорость. Вслѣдствіе того количество вытекающей воды должно быть менѣе того, когда бы всѣ частицы воды въ отверстіи обладали одинаковою скоростію.

Уменьшеніе скорости частицъ струи, прилегающихъ къ краямъ отверстія, происходитъ также отъ тренія воды объ стѣнки сосуда. Число, на которое должно умножить дѣйствительную потерю, для того чтобы получить теорическую, называется *коэффиціентомъ сжатія*.

Изъ многочисленныхъ опытовъ найдено, что дѣйствительная потеря среднимъ числомъ равна двумъ третямъ теорической потери, т. е. коэффиціентъ равенъ $^2/_3$.

Приставныя трубки. § 157. Для увеличенія потери къ отверстіямъ придѣлываютъ прибавочныя трубки (фиг. 492). Форма этихъ трубокъ можетъ быть весьма различна, но употребляются изъ нихъ только *цилиндрическія* и *коническія*.

Фиг. 492.



Если вставить трубку въ отверстіе истеченія, то при этомъ могутъ быть два случая: или жидкость проходитъ въ трубкѣ не прилипая къ ней и тогда потеря не измѣняется, или жила прилипаетъ и въ этомъ случаѣ, отъ дѣйствія взаимнаго притяженія частицъ стѣнокъ и жидкости, сжатая часть жилы расширяется и потеря увеличивается.

Въ цилиндрическихъ трубкахъ для усиленія потери необходимо, чтобы длина трубки была вдвое или втрое больше ея діаметра. Жидкость выходитъ тогда полною трубкою и потеря увеличивается одной третью.

Коническія трубочки, сходящіяся къ наружной части резервуара, увеличиваютъ потерю еще болѣе предъидущихъ. Онѣ даютъ струи весьма правильныя и выбрасываютъ ихъ на большее разстояніе или на большую высоту.

Потеря же, производимая ими, измѣняется вмѣстѣ съ сходящимся угломъ трубки, т. е. угломъ, который образуется чрезъ продолженіе двухъ противоположныхъ сторонъ конуса, составляющаго трубку.

Изъ всѣхъ этихъ трубокъ, наибольшую потерю производятъ коническія трубки, расходящіяся къ наружи. Вантюри вывелъ изъ своихъ опытовъ, что послѣднія трубки могутъ давать дѣйствительную потерю въ 2,4 больше потери, происходящей при истеченіи изъ отверстія въ тонкой стѣнкѣ, у котораго діаметръ равенъ діаметру сѣченія конуса, и въ 1,46 раза больше теорической потери.

Свойства этихъ трубокъ были извѣстны еще древнимъ Римлянамъ. Граждане, которымъ было позволено брать воду изъ общественныхъ резервуаровъ, нашли изъ опыта, что употребленіе этихъ трубокъ увеличиваетъ выгоды даннаго имъ позволенія; повсемѣстное употребленіе ихъ было наконецъ воспрещено закономъ.

Что же касается до скорости истеченія, то она, при цилиндрическихъ и коническихъ трубкахъ, уменьшается въ томъ же отношеніи, въ которомъ увеличивается количество вытекающей воды.

Причина этого заключается въ слѣдующемъ: прилипаніе воды къ стѣнкамъ сосуда не есть ускоряющая сила и потому оно не можетъ увеличивать количества движенія вытекающей воды. Если означимъ чрезъ M количество воды, вытекающей чрезъ отверстіе въ тонкой стѣнкѣ, чрезъ v соотвѣтствующую ему скорость, то произведеніе $M.v$ представитъ намъ количество движенія. Если количество воды увеличится, т. е. если оно сдѣлается равнымъ напр. M', то во столько же разъ должна уменьшиться соотвѣтственная скорость истеченія v, для того чтобы $M.v = M'.v'$, потому что въ противномъ случаѣ должно произойти измѣненіе въ количествѣ движенія.

Намъ остается теперь разсмотрѣть, *какимъ образомъ* приставныя трубки, увеличивая количество вытекающей воды, уменьшаютъ ея скорость.

Когда вода входитъ въ приставную трубку, то она претерпѣваетъ сжатіе точно также, какъ и при выходѣ изъ отверстія въ тонкой стѣнѣ; но послѣ прикосновенія воды къ стѣнкамъ трубки, сила прилипанія заставляетъ воду наполнять совершенно внутреннее пространство трубки. Чрезъ это увеличенный трубкою разрѣзъ жилы принимаетъ большіе размѣры по выходѣ наружу противу того мѣста, гдѣ происходитъ сжатіе, какъ это видно изъ фиг. 493-й.

Въ существованіи самаго сжатія въ трубкѣ мы можемъ убѣдиться изъ того, что если дать приставной трубкѣ форму сжатаго луча (фиг. 493), то истеченіе происходитъ точно также, какъ бы приставная трубка была совершенно цилиндрическая.

Фиг. 493.

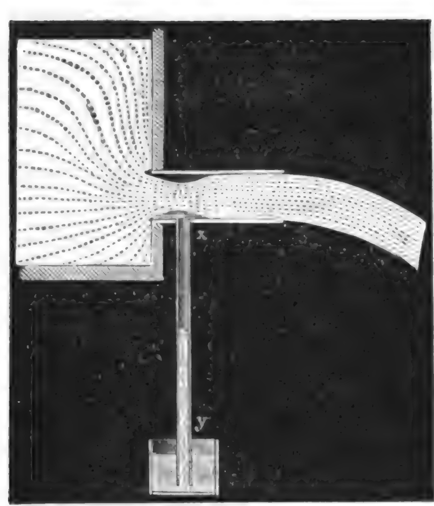


Если же частицы воды, наполняющія вѣсь разрѣзъ трубки, оставляли бы ее съ тою скоростію, съ которою онѣ проходили въ мѣстѣ наибольшаго сжатія, то вслѣдствіе того долженъ бы произойти разрывъ между слѣдующими другъ за другомъ слоями воды, потому что скорость частицъ послѣ каждаго мгновенія принимаетъ новое приращеніе. Этому разъединенію частицъ воды, а слѣдовательно образованію безвоздушнаго пространства, противится давленіе воздуха, которое, ускоряя притокъ водяныхъ частицъ въ трубу, замедляетъ вмѣстѣ съ тѣмъ выхожденіе ихъ. Давленіе воздуха задерживаетъ водяныя частицы до тѣхъ поръ, пока чрезъ то не сдѣлается полное истеченіе ихъ.

А что при этомъ дѣйствительно принимаетъ участіе давленіе воздуха, видно изъ слѣдующаго обстоятельства: количество воды, вытекающей въ безвоздушномъ пространствѣ, не увеличивается отъ приставленія трубокъ.



Фиг. 494.



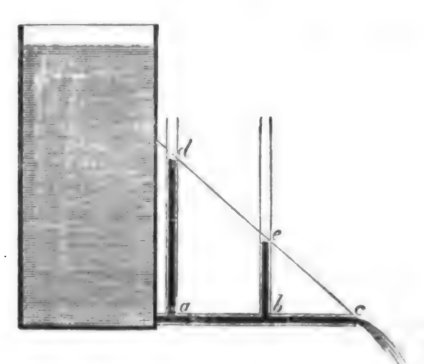
Если сдѣлать отверстіе въ боковой стѣнѣ приставной трубки, то чрезъ это отверстіе всасывается воздухъ и струя перестаетъ быть непрерывною. Если въ это отверстіе (фиг. 494) вставить трубку *xy*, нижній конецъ которой входитъ въ сосудъ съ водою, то въ горизонтальной трубкѣ образуется безвоздушное пространство, заставляющее воду подниматься кверху по трубкѣ *xy*. Обстоятельство это служитъ также доказательствомъ участія давленія воздуха въ разсмотрѣнномъ нами явленіи. Какъ коническая приставная трубка даетъ большую потерю противу цилиндрической, то она должна производить большее поднятіе воды въ трубкѣ *xy*.

Теченіе воды по трубамъ. § 158. Если жидкость вытекаетъ чрезъ трубку значительной длины, то истеченіе это происходитъ или отъ наклонности трубки, если она наклонена, или отъ какого нибудь давленія при началѣ трубки. Въ обоихъ случаяхъ вслѣдствіе непрерывнаго дѣйствія силы, движеніе должно ускоряться. Однако на весьма маломъ разстояніи отъ начала трубки замѣчаютъ, что движеніе становится равномѣрнымъ, а это показываетъ, что есть какая-то сила постоянно уничтожающая ускореніе теченія.

Эта-то сила должна заключаться въ тѣхъ сопротивленіяхъ, которыя происходятъ отъ тренія между частицами жидкости и стѣнками сосуда. Такимъ образомъ, если найденная скорость истеченія чрезъ трубку въ половину менѣе противу той, которая соотвѣтствуетъ высотѣ давленія, то ясно, что одна половина давленія истратилась на преодолѣніе тренія, и что только остальная половина способствовала движенію жидкости.

Но это гидростатическое давленіе на стѣнки трубки не дѣйствуетъ одинаково во всѣхъ точкахъ ея; оно постепенно ослабѣваетъ по мѣрѣ приближенія своего къ наружному концу трубки.

Фиг. 495.



Если скорость, съ которою жидкость выходитъ у *c* (фиг. 495) изъ конца трубки, составляетъ $\frac{m}{n}$ часть той скорости, которая соотвѣтствуетъ высотѣ давленія, то стѣны трубки въ томъ мѣстѣ, гдѣ она прикасается къ резервуару, выдерживаютъ давленіе $1 - \frac{m}{n}$. Если напр. скорость истеченія у $c = {}^2/_5$ теорет. скорости, то давленіе на стѣнки у $a = {}^3/_5$ того давленія, которое соотвѣтствуетъ высотѣ давленія въ резервуарѣ. Если у *a* сдѣлать отверстіе и приставить въ этомъ мѣстѣ отвѣсную трубку, то

вода поднимется въ ней на высоту, соотвѣтствующую боковому давленію въ этомъ мѣстѣ; для взятаго выше примѣра высота водянаго столба *ad* будетъ равна $^3/_8$ высоты давленія въ резервуарѣ.

Это давленіе, выносимое боковыми стѣнками у *a*, выражающее потерю скорости самаго движенія, употребляется для побѣжденія тренія на всемъ протяженіи трубки отъ *a* до *c*. Если точка *b* лежитъ посрединѣ между *a* и *c*, то на пути отъ *b* до *c* должна быть побѣждена только половина того тренія, которое предстоитъ преодолѣть водѣ на пути отъ *a* до *c*; поэтому въ *b* гидростатическое давленіе, выносимое стѣнками, вполовину менѣе давленія соотвѣтствующаго точкѣ *a*; въ отвѣсной трубкѣ, приставленной къ *b*, вода поднимется на высоту $eb = \frac{1}{2} ad$. Если приставить отвѣсную трубку къ любому мѣсту трубки *ac*, то уровень поднятой воды означится линіею *cd*.

Кромѣ сопротивленія, происходящаго отъ тренія, есть еще другія препятствія, состоящія въ изворотахъ и стѣсненіяхъ проводящей трубки: первое изъ нихъ всегда имѣетъ наибольшее вліяніе. Отъ этихъ различныхъ сопротивленій скорость истеченія, а слѣдовательно и потеря, можетъ сдѣлаться въ трубкахъ гораздо менѣе, чѣмъ при истеченіи изъ отверстія въ тонкой стѣнкѣ.

§ 159. Разсмотримъ теперь истеченіе чрезъ волосныя трубки, которыя, какъ мы уже знаемъ, суть трубки съ весьма малымъ діаметромъ. Явленія, обнаруживаемыя трубками, въ особенности заслуживаютъ вниманія по приложеніямъ своимъ въ физіологіи. Докторъ Пуазель произвелъ по этому предмету множество любопытныхъ опытовъ, измѣняя длину трубокъ, ихъ діаметръ и давленіе, опредѣляющее истеченіе. Производя опыты надъ стеклянными трубками, онъ нашелъ три слѣдующіе закона. Истеченіе чрезъ волосныя трубки.

1) *Для одной и той же трубки потеря пропорціональна давленію.*

2) *При равныхъ давленіи и длинѣ трубки, потеря пропорціональна діаметру въ четвертой степени.*

3) *Для одного и того же давленія и одинаковаго діаметра потеря обратно пропорціональна длинѣ.*

Пуазель кромѣ того открылъ, что скорость истеченія измѣняется со свойствами жидкости. Водяной растворъ азотнокислаго кали увеличиваетъ истеченіе; напротивъ того, спиртъ замедляетъ его. Сукровица течетъ почти вдвое медленнѣе воды; смѣшанная со спиртомъ она течетъ еще медленнѣе; но если къ этой смѣси прибавить азотнокислаго кали, то сукровица принимаетъ прежнюю скорость.

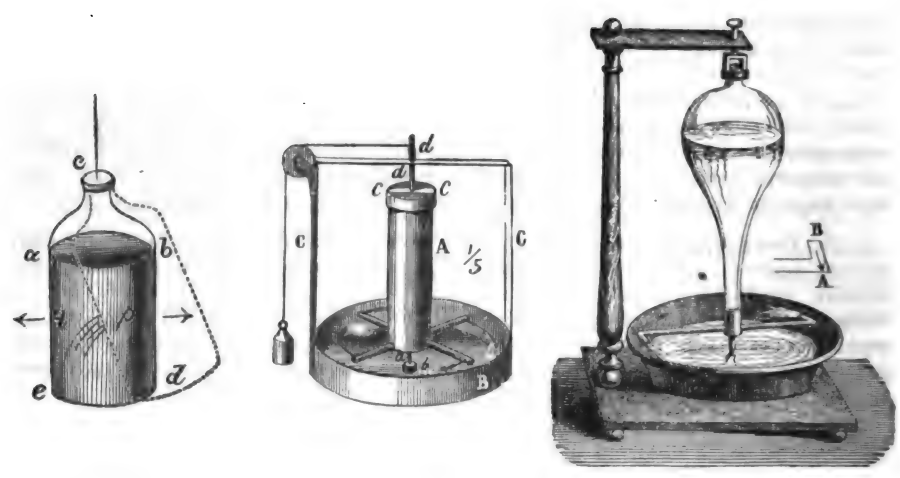
Опыты эти были производимы надъ стеклянными трубками; но спрашивается теперь, получимъ ли мы тѣже результаты для волосныхъ сосудовъ органическихъ тѣлъ? Охлаждая мертвыхъ животныхъ до окружающей ихъ температуры и впуская въ главную артерію какого нибудь органа сукровицу, доказали, что азотнокислое кали облегчаетъ истеченіе въ волосныхъ сосудахъ органическихъ тѣлъ лишенныхъ жизни, также какъ и въ стеклянныхъ трубкахъ, а спиртъ, напротивъ, замедляетъ его.

Эти факты доказываютъ, что обращеніе крови въ артеріяхъ и венахъ подвержено тѣмъ же законамъ, какъ и истеченіе жидкостей въ волосныхъ трубкахъ. Изъ этого видно, какъ важно принимать въ разсчетъ физическія силы при изученіи физіологическихъ явленій.

§ 160. Представимъ себѣ висячій стаканъ или другой сосудъ, наполненный водою (фиг. 496). Очевидно, онъ будетъ находиться въ покоѣ, потому что всѣ боковыя давленія на стѣны его уничтожатся равными давленіями съ противуположныхъ сторонъ. Но если въ какомъ либо мѣстѣ боковой части сосуда сдѣлать отверстіе, то вода устремится изъ него. Понятно, что давленіе въ этомъ мѣстѣ будетъ совсѣмъ уничтожено, между тѣмъ какъ на сторону противуположную отверстію давленіе будетъ уже увеличено вдвое противу прежня- Боковое давленіе.

го. Значитъ, въ послѣднюю сторону должно произойти движеніе, если только этому не будетъ препятствовать какая нибудь посторонняя причина. Послѣднее явленіе можно сравнить съ откатомъ у пушекъ и отдачею у ружей, послѣ сдѣланнаго изъ нихъ выстрѣла. Обстоятельство это Зегнеръ приспособилъ весьма искусно къ устройству обращающагося колеса. Зегнерово водяное колесо (фиг. 497) со-

Фиг. 496. Фиг. 497. Фиг. 498.

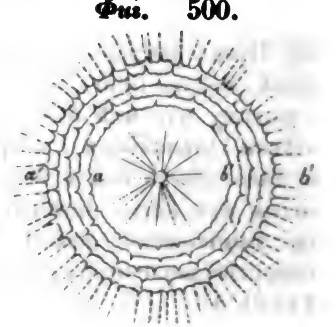


стоитъ изъ вращающагося на оси пустаго сосуда *A*, изъ нижней части котораго выходитъ нѣсколько пустыхъ трубокъ, закрытыхъ съ наружныхъ концовъ. Послѣднія имѣютъ съ боку, близь наружнаго края, отверстія обращенныя въ одну сторону. По мѣрѣ того, какъ сосудъ наполняется сверху водою, она вытекаетъ чрезъ боковыя отверстія трубокъ; причемъ каждая трубка претерпѣваетъ со стороны противуположной отверстію давленіе, которое, увеличиваясь постоянно, приводитъ въ круговое движеніе весь приборъ. На фиг. 498 представленъ видъ зегнерова колеса, употребляемый для опытовъ въ физическихъ кабинетахъ.

Ударъ воды. § 161. Весьма замѣчательное явленіе открыто Саваромъ касательно удара водяной струи объ твердое тѣло. Если противъ струи, падающей отвѣсно изъ трубки, поставить въ разстояніи 1 дюйма отъ отверстія хорошо отполированную пластинку, діаметръ которой соотвѣтствуетъ діаметру трубки, то ударяющая на пластинку струя расширяется и принимаетъ форму представленную на фиг. 499-й сбоку, а на фиг 500-й сверху. При большемъ удаленіи пластинки

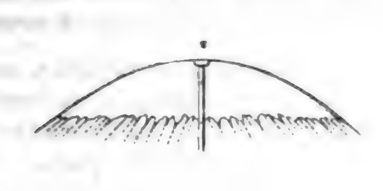
Фиг. 499. Фиг. 500.



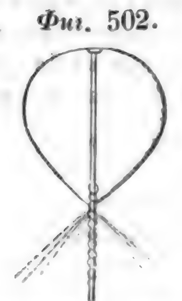


отъ отверстія, струя постепенно переходитъ въ положенія, означенныя на фигурахъ 501-й и 502-й.

Фиг. 501.



Фиг. 502.

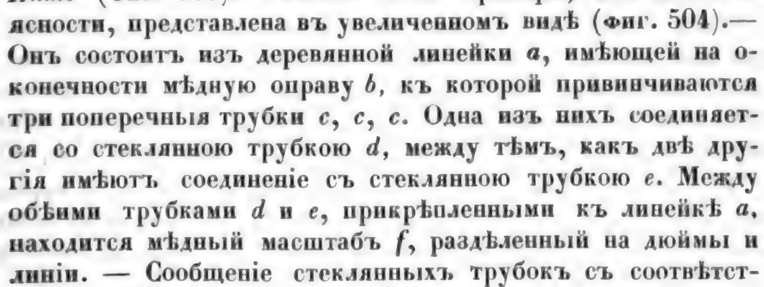


Подобныя явленія замѣчаютъ при ударенія восходящихъ лучей о пластинки; точно также, если два луча встрѣчаются между собою.

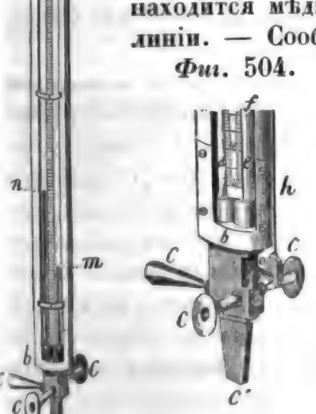
Вліяніе паденія на скорость теченія.

§ 162. Вслѣдствіе тяжести вода стремится постоянно стекать съ высокаго мѣста на низкое; если ничто не противодѣйствуетъ этому стремленію, то происходитъ дѣйствительно теченіе воды. Если мы въ водѣ, текущей по скату, возмемъ двѣ точки, изъ которыхъ одна лежитъ выше другой, то высота первой точки надъ второю называется *паденіемъ*. Отъ величины паденія очевидно зависитъ и самая скорость теченія воды. Скорость эта опредѣляется различнымъ образомъ, такъ наприм. если ширина рѣки однообразна на значительномъ протяженіи, то скорость теченія ея узнаютъ по количеству футовъ, проходимыхъ въ извѣстный промежутокъ времени тѣломъ, плавающимъ на ней. Когда же желаютъ найти скорость воды на известной глубинѣ, то обыкновенно употребляютъ для этого приборъ *Пито* (фиг. 503). Нижняя часть прибора, для большей ясности, представлена въ увеличенномъ видѣ (фиг. 504).— Онъ состоитъ изъ деревянной линейки *a*, имѣющей на оконечности мѣдную оправу *b*, къ которой привинчиваются три поперечныя трубки *c*, *c*, *c*. Одна изъ нихъ соединяется со стеклянною трубкою *d*, между тѣмъ, какъ двѣ другія имѣютъ соединеніе съ стеклянною трубкою *e*. Между обѣими трубками *d* и *e*, прикрѣпленными къ линейкѣ *a*, находится мѣдный масштабъ *f*, раздѣленный на дюймы и линіи. — Сообщеніе стеклянныхъ трубокъ съ соотвѣтственными трубками *c*, *c*, *c*, можетъ быть, по произволу, возстановляемо и прерываемо оборотами винта, поворачиваемаго посредствомъ проволоки *h* и небольшаго рычага *o*. — При употребленіи прибора отворяется винтъ и линейка погружается до извѣстной глубины въ воду, такимъ образомъ, чтобы одна изъ трубокъ *c* была обращена противу теченія, а двѣ другія поперегъ къ нему. — На основаніи закона равнаго давленія вода входитъ въ послѣд-

Фиг. 503.



Фиг. 504.



нія и останавливается въ трубкѣ e у точки m — противу уровня воды въ рѣкѣ; вслѣдствіе же напора теченія вода проходитъ черезъ трубку c, соединяющуюся съ d и останавливается у точки n. По возстановленіи равновѣсія запираютъ винтъ. Разность уровней въ обѣихъ трубкахъ d и e дастъ намъ возможность судить о быстротѣ теченія.

Работа производимая паденіемъ.

§ 163. Разсмотримъ теперь работу производимую паденіемъ воды. Если паденіе равно h футамъ и если въ каждую секунду протекаетъ одинъ кубическій футъ воды, то вслѣдствіе того на протяженія h футовъ происходитъ въ секунду постоянное давленіе, равное вѣсу кубическаго фута воды. Поэтому работа, произведенная водою, равна произведенію изъ h на число выражающее вѣсъ кубическаго фута воды.

Если протекаетъ Q кубическихъ футовъ въ секунду, то произведенная работа будетъ $h \,.\, Q$ помноженное на вѣсъ кубическаго фута воды. Понятно, что эту работу, какъ и всякую другую, можно выразить въ пудофутахъ. Если бы работу, производимую паденіемъ воды, можно бы было сообщить безъ всякой потери машинѣ, то работа, производимая машиною, равнялась бы совершенно работѣ паденія воды. Но не одинъ изъ придуманныхъ доселѣ гидравлическихъ двигателей не въ состояніи развить такой работы и можно даже сказать, что никогда не удастся изобрѣсти такое устройство, которое бы въ состояніи было принять всю работу паденія воды и передать эту работу въ неизмѣнномъ видѣ другимъ двигателямъ. При большей части водяныхъ машинъ пропадаетъ значительное число водяныхъ частицъ падающихъ на сторону, чрезъ что неизбѣжно теряется для гидравлическаго двигателя та работа, которую бы они въ состояніи были произвести.

Хотя въ нѣкоторыхъ машинахъ неудобство это можно считать почти устраненнымъ, но и при нихъ встрѣчаются сопротивленія, поглощающія извѣстную часть работы паденія воды, чрезъ что работа, которую могутъ производить эти машины или такъ называемое *полезное дѣйствіе* никогда не передаетъ всей работы паденія воды.

Не имѣя возможности устроить машину для полной передачи работы двигателя, мы должны придавать гидравлическимъ машинамъ такое устройство, которое бы по возможности приближалось къ выполненію цѣли ихъ.

Вода, падающая съ извѣстной высоты, достигаетъ съ нѣкоторою скоростію машины устроенной для передачи ея работы; по произведеніи полезнаго дѣйствія вода оставляетъ машину и стекаетъ далѣе книзу. При этомъ должны быть выполнены два главнѣйшія условія. Вопервыхъ, расположеніе машинъ должно быть таково, чтобы вода дѣйствовала на машину безъ всякаго удара, на произведеніе котораго очевидно должна быть потеряна извѣстная часть полезной работы. Вовторыхъ, вода по остановленіи машины, передъ самымъ стокомъ своимъ книзу не должна имѣть никакой скорости, потому что эта скорость въ состояніи произвести нѣкоторую работу, которая остается утраченною для машины.

§ 164. Мы разсмотримъ здѣсь въ общихъ чертахъ главнѣйшіе *гидравлическіе движители*. Между ними наибольшее примѣненіе въ общежитіи имѣютъ *гидравлическія колеса*. Гидравлическіе движители.

Они бываютъ *вертикальныя* и *горизонтальныя*; первыя изъ нихъ вращаются на лежачихъ или горизонтальныхъ осяхъ, а послѣднія на стоячихъ или отвѣсныхъ осяхъ.

Начнемъ съ вертикальныхъ колесъ, между которыми три главныя: *снизу бьющееся колесо, среди бьющееся колесо* и *сверху бьющееся колесо*; различія эти основаны на томъ, какимъ образомъ вода падаетъ въ колесо. У снизу бьющагося колеса вода дѣйствуетъ на нижнія лопатки, у среди бьющагося — вода течетъ въ половину высоты колеса, и наконецъ, у сверху бьющагося — она дѣйствуетъ на верхнюю часть колеса.

Фиг. 505.



У снизу бьющагося колеса (фиг. 505) лопатки расположены перпендикулярно къ окружности колеса; нижнія лопатки погружены въ воду, которая течетъ съ извѣстною скоростію, согласно высотѣ паденія.

Это то теченіе воды и приводитъ колесо въ движеніе, и сообщаетъ ему извѣстную скорость вращенія.

Если бы вода должна была сообщать колесу скорость равную той, съ которой бы она протекала въ томъ случаѣ, когда бы не было колеса на пути ея движенія, то очевидно, что колесо не должно оказывать этому движенію никакого сопротивленія, оно не должно быть вовсе обременено другою работой; слѣдовательно въ этомъ случаѣ оно не въ состояніи будетъ произвести никакого механическаго дѣйствія: полезное дѣйствіе его будетъ равно нулю.

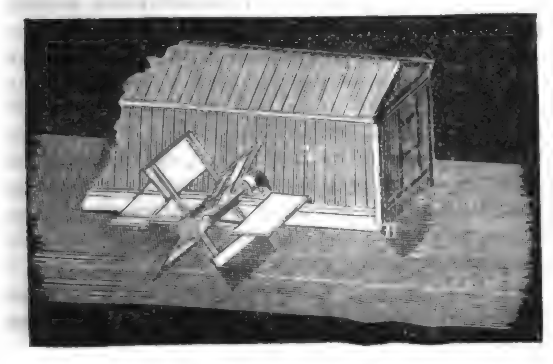
Съ другой стороны, если обременить такъ сильно колесо, чтобы вода не въ состояніи была привести его въ движеніе, то падающая вода должна ограничиться только статическимъ давленіемъ, которое будетъ только удерживать въ равновѣсіи тяжесть обременяющую колесо. Въ этомъ случаѣ полезное дѣйствіе также равно нулю.

Изъ этихъ разсужденій слѣдуетъ, что колесо можетъ произвести полезное дѣйствіе только въ томъ случаѣ, когда оно движется со скоростію меньшею противу свободно текущей воды. Какъ вычисленія, такъ и опыты, произведенные съ помощію динамометра, показываютъ, что колесо производитъ наивыгоднѣйшее дѣйствіе только въ томъ случаѣ, когда скорость колеса въ половину менѣе противу той, которая соотвѣтствуетъ высотѣ паденія.

Изъ этого слѣдуетъ, что у обыкновеннаго снизу бьющагося колеса можетъ быть употреблена съ пользою только половина механическаго дѣйствія паденія; вода оставляющая колесо сохраняетъ еще половину той скорости, которая соотвѣтствуетъ высотѣ паденія.

Но на самомъ дѣлѣ нельзя достигнуть даже и половиннаго полезнаго дѣйствія вслѣдствіе растраты нѣкоторыхъ частицъ воды, вслѣдствіе прилипанія, тренія и другихъ причинъ. Производя опыты надъ колесомъ, у котораго не пропадаетъ сбоку извѣстнаго количества воды, нашли, что полезное дѣйствіе его $= 0{,}3$ полнаго дѣйствія соотвѣтствующаго высотѣ паденія.

Фиг. 506.



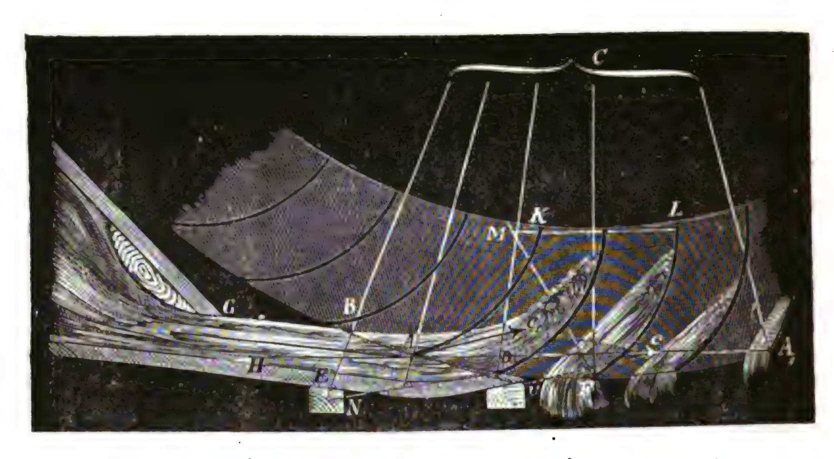
Въ колесахъ же неосвобожденныхъ отъ боковой растраты воды, какъ наприм. на мельницахъ (фиг. 506), расположенныхъ на судахъ, полезное дѣйствіе еще болѣе удаляется отъ полнаго дѣйствія.

Причина этихъ невыгодъ снизу бьющагося колеса, у ко-

тораго лопатки расположены перпендикулярно къ теченію воды, заключаются очевидно въ томъ, что вода тратитъ часть полезнаго дѣйствія при ударѣ ея объ колесо и что по оставленіи колеса она сохраняетъ еще извѣстную скорость. Для устраненія этихъ неудобствъ, французскій инженеръ *Понселе* предложилъ устраивать *кривыя* лопатки, полезное дѣйствіе которыхъ ближе подходитъ къ полному дѣйствію паденія.

Если бы вода должна была передавать колесу движеніе безъ удара, то очевидно, что лопатки должны быть расположены по направленію касательныхъ къ окружности колеса, потому что въ этомъ случаѣ вода будетъ встрѣчать не плоскость, но ребро лопатки (фиг. 507). Желая же устроить лопатки на

Фиг. 507.



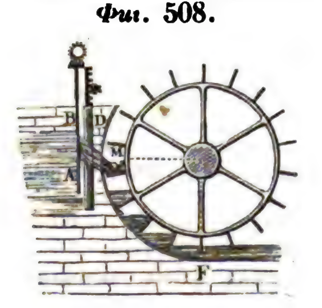
самомъ дѣлѣ такъ, чтобы онѣ выполняли это условіе, мы встрѣчаемъ новое неудобство: это препятствіе къ выходу воды изъ лопатки; съ другой стороны вода не должна передавать колесу всей своей скорости, потому что въ такомъ случаѣ она не будетъ имѣть возможности для дальнѣйшаго стока съ колеса. Поэтому и колеса Понселе даютъ неизбѣжно извѣстную потерю работы, кромѣ потери причиняемой посторонними сопротивленіями.

Колеса Понселе съ кривыми лопатками даютъ полезное дѣйствіе, равное отъ $^2/_3$ до $^3/_4$ полнаго дѣйствія паденія. Это увеличенное дѣйствіе колесъ Понселе, кромѣ незначительности удара, зависитъ отъ того, что вода при восхожденіи по кривой лопаткѣ теряетъ большую часть скорости, передавая ее колесу.

Вообще снизу бьющіяся колеса устраиваются въ томъ случаѣ, когда хотятъ воспользоваться низменнымъ положеніемъ воды.

При большемъ возвышеніи уровня воды устраиваютъ средибьющееся колесо (фиг. 508). Вода течетъ въ этомъ случаѣ на половину высоты колеса, къ окружности котораго придѣланы лопатки или ящики; ударяющая въ нихъ вода, кромѣ скорости, дѣйствуетъ также своею тяжестію. Вода наполняетъ послѣдовательно эти ковши по мѣрѣ того, какъ они прибываютъ къ тому мѣсту, гдѣ вода падаетъ на колесо. Каждый ковшъ, наполненный водою, опускается книзу и передъ поднятіемъ своимъ освобождается отъ воды.

Фиг. 508.

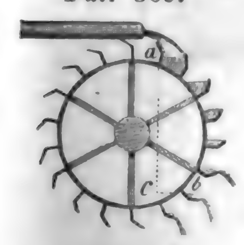


При устройствѣ этого колеса должно наблюдать, чтобы вода выливалась изъ каждаго ковша

по возможности въ самомъ низу, потому что въ противномъ случаѣ не будетъ употреблена въ дѣйствіе полная работа воды.

Колесо съ ковшами даетъ тѣмъ лучшіе результаты, чѣмъ медленнѣе оно двигается; вопервыхъ, потому, что при медленности движенія вода будетъ производить наименьшій ударъ; вовторыхъ, при быстромъ вращеніи образуется центробѣжная сила, которая поднимаетъ воду въ ковшахъ и заставляетъ ее выливаться наружу прежде достиженія ковшами низшей точки ихъ пути. Хорошо устроенныя колеса съ ковшами даютъ 0,75 частей полнаго полезнаго дѣйствія. Наибольшее благопріятное дѣйствіе этихъ колесъ обнаруживается при высотѣ паденія въ 5 футовъ.

Фиг. 509.

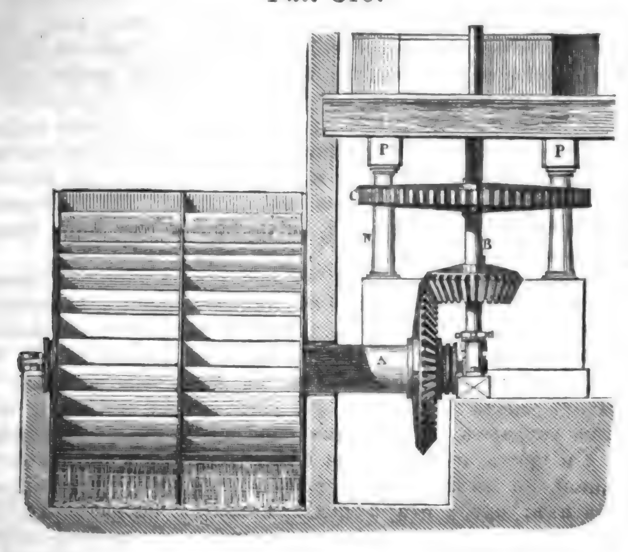


Но если высота паденія значительнѣе, напр. отъ 10 до 12 фут., то устраиваютъ сверхубьющіяся колеса (фиг. 509), въ которыхъ лопатки расположены также ковшами. Дѣйствіе этихъ колесъ одинаково съ предъидущими, точно также какъ и условія, необходимыя для доставленія имъ наибольшаго полезнаго дѣйствія.

Гидравлическія колеса имѣютъ наибольшее примѣненіе при устройствѣ мельницъ.

Фигура 510-я представляетъ колесо, на которое дѣйствуетъ вода сверху; колесо вращаетъ валъ *A*. Послѣдній проходитъ въ зданіе и приводитъ въ дви- Водяныя мельницы.


Фиг. 510.

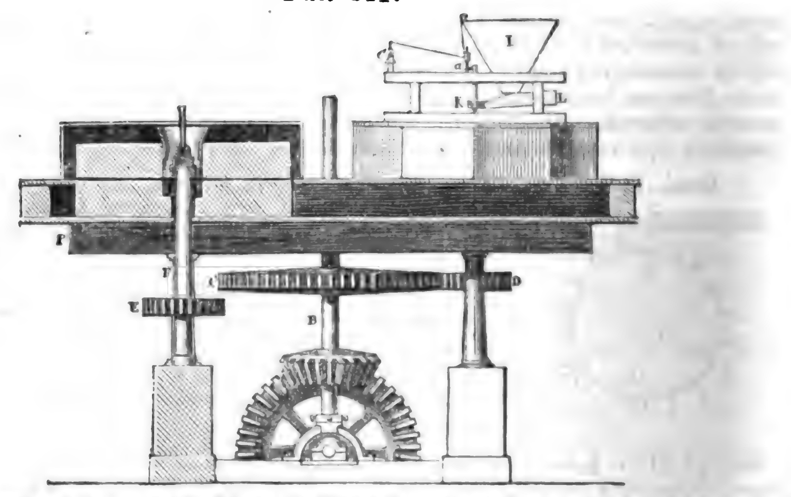


женіе посредствомъ зубчатаго колеса отвѣсный валъ *B*. Здѣсь представлено только соединеніе дѣйствующихъ частей мельницы, а фигура 511-я представляетъ ея дальнѣйшее устройство.

Колесо *C* должно вращать два мельничныхъ хода, изъ которыхъ одинъ представленъ здѣсь въ разрѣзѣ, а другой со внѣшней стороны. Для этого вращенія устроены подвижныя зубчатыя колеса *E* и *D*, которыя должны зацѣплять за колесо *C*. Въ представленныхъ рисункахъ, на первомъ изображена мельница во время движенія, а на второмъ во время покоя. Разсмотримъ подробное устройство ихъ.

Валъ *F* лежитъ на подушкѣ своимъ основаніемъ и проходитъ сквозь мельничный камень, называемый *жерновомъ*. На верхней конусообразной части вала находится второй жерновъ, который называется также *ходуномъ* и вра-

Фиг. 511.



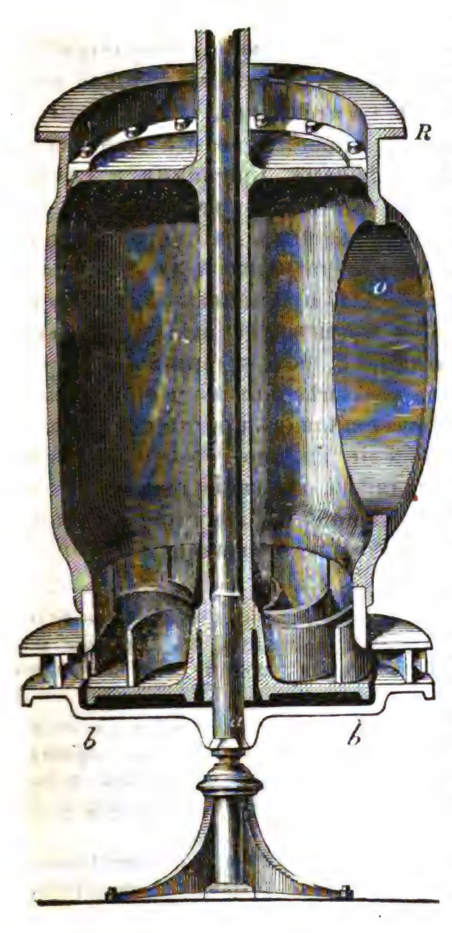
щается вмѣстѣ съ валомъ. Между обоими жерновами находится весьма малое пространство и притомъ такъ стараются, чтобы оба жернова были параллельны другъ другу, т. е. чтобы разстояніе между ними было вездѣ одинаково. Среднее отверстіе въ верхнемъ жерновѣ покрывается желѣзомъ, такимъ образомъ, чтобы зерна входили въ пространство между жерновами и тамъ истирались бы въ муку и отруби. Для чего на внутреннихъ поверхностяхъ жернововъ выдолблены жолоба, которые при обращеніи верхняго жернова дѣйствуютъ подобно лезвію ножницъ. По дѣйствію центробѣжной силы смолотое зерно постепенно выбрасывается въ закрытое со всѣхъ сторонъ пространство, а оттуда въ мѣшки. Приборъ, служащій для отдѣленія отрубей отъ муки, для простоты рисунка здѣсь не представленъ. Онъ приводится въ движеніе продолженіемъ вала *B*.

Зерна, назначенныя для измельченія, всыпаются въ ящикъ *I*, котораго нижнее отверстіе почти закрыто наклонно стоящимъ ящикомъ *L*, который называется *башмакомъ*. На продолженіи вала, вращающемъ ходунъ, находится нѣсколько спицъ *K*, которыя при обращеніи вала слегка ударяютъ о башмакъ и тѣмъ самымъ заставляютъ зерна падать въ отверстіе верхняго жернова. Гремушка *C* даетъ знать мельнику, что изъ кузова всѣ зерна измололись. Механизмъ этотъ устроенъ слѣдующимъ образомъ: отъ гремушки идетъ снурокъ къ колку *b* и чрезъ послѣдній по блоку въ ящикъ *j*; на концѣ снурка привязанъ большой, но легкій кусокъ дерева, который вставляется подъ зерна послѣ насыпанія ихъ; чрезъ это *b* поддерживается на извѣстной высотѣ во время вращенія вала и не дотрогивается къ спицѣ *a*. Количество зеренъ, мало по малу уменьшаясь, наконецъ не въ состояніи удерживать дерева и тогда *b* опускается такъ низко, что зацѣпляется спицею *a* и при каждомъ поворотѣ вала производитъ объ нее ударъ.

Діаметръ жернова обыкновенно равенъ четыремъ футамъ. Ходунъ совершаетъ 70 оборотовъ въ минуту, а пара жернововъ въ продолженіе 24 часовъ можетъ смолоть отъ 500 до 600 фунтовъ зеренъ.

Между *горизонтальнымп колесами*, двигающимися отъ боковаго давленія воды, замѣчательно колесо устроенное Фурнерономъ и извѣстное подъ названіемъ *фурнероновой турбины*. Фигура 512-я показываетъ устройство турбины, сдѣланной для высокаго паденія.

Фиг. 512.



Вся масса падающей воды собирается въ широкую чугунную трубу, изъ которой она входитъ чрезъ отверстіе *O* въ чугунный резервуаръ. Резервуаръ этотъ опирается выдающимся краемъ на бревна, вдѣланныя въ каменную стѣну. Сквозь средину резервуара проходитъ пустая внутри трубка, соединяющая крышку резервуара съ его основаніемъ. Это горизонтальное основаніе, или дно, не соединяется съ вертикальными стѣнками резервуара, но между нимъ и боковыми стѣнками находится кругообразное промежуточное пространство, изъ котораго вода устремляется по горизонтальному направленію.

Устремляющаяся изъ этого мѣста вода приводитъ въ движеніе горизонтальное колесо, снабженное вертикальными лопатками; *aa* есть вертикальная ось, вокругъ которой обращается колесо; она проходитъ чрезъ трубку, соединяющую крышку и дно резервуара. Къ этой оси прикрѣплена круглая доска *bb*, на которой покоится кругъ съ лопатками, лежащій противу нижняго отверстія резервуара.

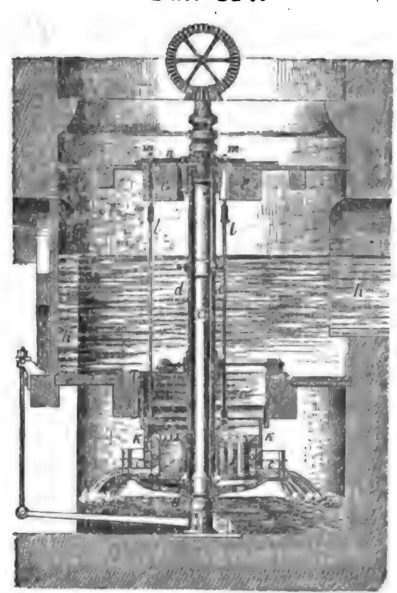
Фиг. 513.



Лопатки имѣютъ загнутую форму, представленную на фиг. 513-й, сверху. Для доставленія водѣ по возможности выгоднаго направленія относительно лопатокъ, на доскѣ *bb* резервуара устроены кривыя лопатки изъ жести, для доставленія водѣ опредѣленнаго направленія.

Хорошо устроенная фурнеронова турбина даетъ полезнаго дѣйствія до 75 процентовъ полнаго дѣйствія.

Фиг. 514.



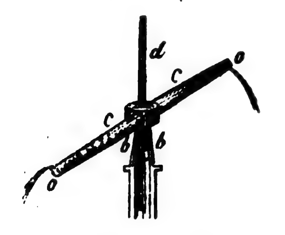
На фиг. 514-й представлена турбина, употребляемая на заводахъ. Масса воды предварительно собирается въ чугунную трубу *h*, изъ которой проводится въ пріемникъ *i*. Дно послѣдняго не прикасается къ вертикальнымъ стѣнкамъ пріемника и потому можетъ двигаться независимо отъ него, посредствомъ находящейся внутри сосуда подвижной вертикальной оси *a*. Изъ пріемника вода переходитъ въ промежутки между кривыми лопатками *g*, изъ которыхъ она ударяетъ на отвѣсныя перья колеса *c*, расположенныя въ противоположномъ направленіи къ перегородкамъ. Приведенныя въ движеніе перья доставляютъ обращеніе всему дну турбины, а слѣдовательно и отвѣсной оси его *a*.

Много было сдѣлано попытокъ для устройства зегнерова колеса въ большомъ видѣ, такъ чтобы оно въ состояніи было приводить въ движеніе машины. Но всѣ эти попытки оставались безъ успѣха, потому что постоянно получалось мало полезнаго дѣйствія.

Послѣднее же обстоятельство происходитъ не отъ того, чтобы въ этомъ случаѣ двигающая сила воды была незначительна, но потому, что обращающееся основаніе должно выносить вѣсъ значительнаго количества воды, вслѣдствіе того вода теряетъ большую часть полезнаго дѣйствія на преодолѣніе тренія.

Это заставило устраивать горизонтальное колесо вверху и проводить въ него воду снизу. Сущность этого устройства представлена на фиг. 515-й. Резервуаръ состоитъ изъ чугунной проводной трубы, загнутой снизу и оканчивающейся трубкою *a*, идущею отвѣсно кверху. Изъ отверстія у *a* вода устремляется въ чахолъ *b*, насаженный такимъ образомъ на оконечность трубки *a*, чтобы онъ могъ свободно обращаться вокругъ послѣдней. Изъ чахла вода проходитъ въ горизонтальныя трубки *cc* и вытекаетъ чрезъ наружныя отверстія ихъ. Движеніе самаго колеса происходитъ отъ вращенія оси *d*.

Фиг. 515.



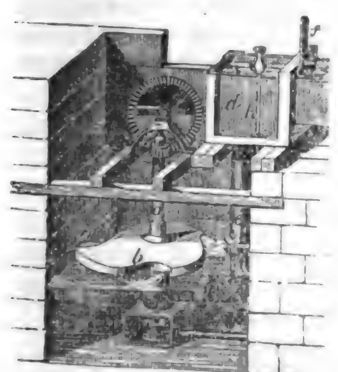
Въ этомъ приборѣ треніе, преодолѣваемое колесомъ у *a*, весьма незначительно, потому что вѣсъ колеса, со всѣмъ прикрѣпленнымъ къ нему, почти совершенно поддерживается давленіемъ водянаго столба, такъ что оконечность трубки *a* почти не выноситъ никакого давленія.

Но при подобномъ устройствѣ, какъ и при снизу бьющемся колесѣ съ плоскими лопатками, тратится значительная часть полезнаго дѣйствія, потому что, если бы вода передавала совершенно свою скорость колесу и вытекала изъ отверстій безъ скорости, слѣдовательно, если бы колесо вращалось со скоростію соотвѣтствующею высотѣ паденія, то давленіе на противоположную сторону или полезное дѣйствіе было бы равно нулю.


Фиг. 516.

Вода должна непременно сохранять часть своей скорости. — И въ этомъ случаѣ искривленіе трубки, показанное на фиг. 516-й, увеличиваетъ полезное дѣйствіе. Вода, выходящая изъ трубки и производящая давленіе на загнутые края ея, передаетъ колесу мало по малу свою скорость, такъ что скорость ея у отверстій становится уже весьма незначительною.

Подобныя загнутыя колеса въ большомъ употребленіи въ Шотландіи и потому ихъ называютъ *шотландскими турбинами* (фиг. 517). У нихъ вода бѣжитъ изъ *d* черезъ трубу *e* въ колесо *b*, вращающееся вмѣстѣ съ осью *a*.


Фиг. 517.

Между гидравлическими двигателями замѣчательны *водостолбная машина* и *гидравлическій таранъ*. Первая изъ этихъ машинъ будетъ нами разсмотрѣна въ аэростатикѣ. Гидравлическій таранъ.

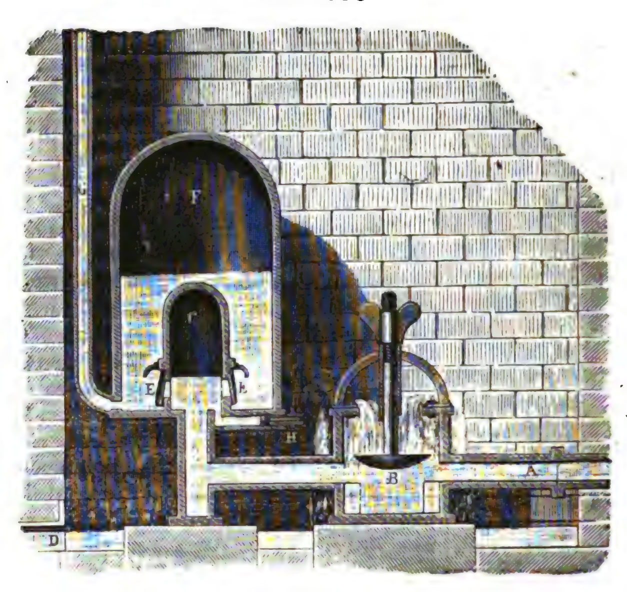
Устройство же гидравлическаго тарана основано на слѣдующемъ. Представимъ себѣ, что извѣстныя частицы тѣла (твердаго или жидкаго), двигающагося съ опредѣленною скоростію, внезапно остановлены. Вслѣдствіе того остальныя частицы, неподверженныя непосредственному вліянію останавливающаго сопротивленія, произведутъ на первыя частицы различныя дѣйствія. Частицы, лежащія впереди, или будутъ стремиться притянуть къ себѣ остановленныя частицы, или отдѣлятся отъ нихъ; частицы же, лежащія позади, имѣя стремленіе къ продолженію движенія, будутъ очевидно производить давленіе на остановленныя частицы.

Если напримѣръ стрѣла летящая съ быстротою будетъ остановлена какою нибудь силою, непосредственно дѣйствующею на середнюю часть ея, то переднія будутъ стремиться притягивать къ себѣ остановленную часть и это притяженіе въ иныхъ случаяхъ можетъ быть такъ значительно, что передняя часть въ состояніи отдѣлиться отъ остальной массы. Напротивъ того задняя часть стрѣлы будетъ имѣть стремленіе подвигать впередъ остановленную часть, такъ что послѣдняя будетъ по всей своей длинѣ выносить давленіе позади лежащихъ точекъ. Точно также, если движущійся по трубкѣ столбъ воды будетъ остановленъ внезапно какимъ либо сопротивленіемъ, то сопротивленіе это, вслѣдствіе скорости пріобрѣтенной водою, должно будетъ выносить давленіе, которое очевидно распространится вдоль всего столба воды. Въ продолженіи этого весьма краткаго времени, боковыя стѣны будутъ выносить давленіе, зависящее отъ скорости заключающагося въ нихъ водянаго столба.

Вода возвышеннаго бассейна проводится чрезъ трубку *A* (фиг. 518). Трубка эта имѣетъ вблизи нижняго конца обращенное кверху отверстіе, чрезъ которое вытекаетъ вода. Клапанъ *B* находится на пути текущей воды; поэтому если скорость этой воды достигнетъ извѣстной величины, то клапанъ *B* увлекается кверху и запираетъ отверстіе, чрезъ которое вытекала вода. Какъ въ это мгновеніе теченіе воды внезапно останавливается, то всѣ боковыя стѣнки претерпѣваютъ ударъ, который въ состояніи преодолѣть давленіе гораздо большее, противу давленія соотвѣтствующаго высотѣ паденія воды. Отъ этого удара отворяются клапаны *E* и часть воды вгоняется въ резервуаръ *F*, откуда она переходитъ въ восходящую трубку *G* и поднимается въ ней на высоту гораздо большую, противу резервуара, изъ котораго она проведена, потому что воздухъ, находящійся въ резервуарѣ *F*, сжимается и давитъ сильнѣе противу обыкновеннаго атмосфернаго давленія, дѣйствующаго на поверхность

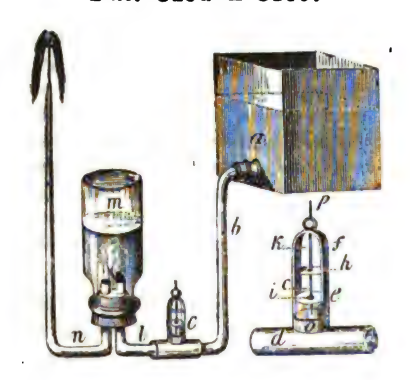
бассейна. Когда послѣ этого удара снова возстановится равновѣсіе, клапанъ *B* опадаетъ вслѣдствіе собственной своей тяжести, вода вытекаетъ снова чрезъ *B* до тѣхъ поръ, пока не запрется опять клапанъ, послѣ чего повторится сказанное нами выше.

Фиг. 518.



Моръ устроилъ модель, служащую для объясненія основаній гидравлическаго тарана (фиг. 519*a*). Она состоитъ изъ стеклянныхъ трубокъ и мѣднаго клапана въ части служащей для вытеченія воды. Послѣдній представленъ особо на фиг. 519*b* въ увеличенномъ видѣ.

Фиг. 519*a* и 519*b*.



Къ горизонтальной трубкѣ *l* приставлена мѣдная отвѣсная трубочка *c*, закрытая сверху кружкомъ *e*, въ которомъ продѣлано небольшое отверстіе *i*. Сквозь послѣднее проходитъ стержень *k* клапана *o*. Стержень проходитъ свободно чрезъ два другія отверстія, изъ которыхъ одно находится въ верхней части дуги *f*, а другое въ дощечкѣ *h*. Клапанъ располагается посрединѣ между высокою трубкою *b* и загнутымъ колѣномъ ея. Высокая трубка проводитъ воду изъ резервуара. Послѣдняя устремляется къ небольшому отверстію *i* и весь опускающійся водяной столбъ мало по малу пріобрѣтаетъ скорость, которая позволяетъ ей наконецъ поднять клапанъ *o* и прижать его къ доскѣ *e*. Чрезъ это останавливается истеченіе воды и весь водяной столбъ, находившійся въ движеніи, устремляется мимо клапана въ резервуаръ *m* (фиг. 519*a*), поднимая для этого небольшой клапанъ, запирающій оконечность проводной трубки. Послѣдній клапанъ соотвѣтствуетъ клапанамъ *E* (фиг. 518); подобное отношеніе существуетъ и между остальными частями прибора Мора и гидравлическаго тарана.

Чѣмъ болѣе отверстіе *i* (фиг. 519*b*) относительно клапана, тѣмъ съ большимъ ускореніемъ будетъ опускаться вода и тѣмъ сильнѣе будетъ напоръ, съ которымъ вода вступаетъ въ резервуаръ; слѣдовательно, тѣмъ быстрѣе будетъ

выливаться вода изъ резервуара *a*. Если опустить клапанъ *o* весьма мало, что можетъ быть достигнуто приличнымъ помѣщеніемъ гирьки, лежащей на поршнѣ надъ самою дугою *f*, то толчки слѣдуютъ быстро другъ за другомъ. Если обременить клапанъ *o* тяжестію сверху, то онъ будетъ подниматься только по достиженіи водою значительной скорости, а слѣдовательно и самое истеченіе воды изъ трубки *n*, будетъ подниматься на значительную высоту. При наполненіи резервуара значительнымъ количествомъ воды, толчки слѣдуютъ быстро другъ за другомъ и вода будетъ подниматься выше, нежели при наполненіи резервуара воздухомъ.

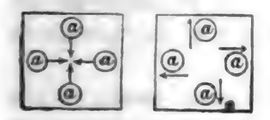
Въ приборѣ Мора вода бьетъ изъ трубки *n* выше уровня резервуара *a*, что повидимому противорѣчитъ изложеннымъ нами выше законамъ; но при этомъ должно замѣтить, что не вся вода достигаетъ до этой высоты, но большая часть воды опадаетъ гораздо ниже.

Законы равновѣсія газообразныхъ тѣлъ.

(Аэростатика).

§ 165. Мы уже говорили, что *газы* суть тѣла, у которыхъ притягательная сила между частицами гораздо слабѣе нежели у твердыхъ и жидкихъ тѣлъ. Взамѣнъ слабаго притяженія между частицами газовъ существуетъ значительная расширительная сила, называемая *упругостію*, вслѣдствіе которой они обладаютъ гораздо большею легкою подвижимостію противу жидкостей. Упругость эта такъ значительна у газовъ, что частицы ихъ, вмѣсто сближенія между собою (фиг. 520) стремятся ко взаимному удаленію другъ отъ друга (фиг. 521). Основываясь на этомъ свойствѣ газообразныхъ тѣлъ называютъ послѣднія весьма часто *упругими жидкостями*. Отличительныя свойства газовъ.

Фиг. 520 и 521.



Упругія жидкости раздѣляются на два класса на *газы постоянные* или собственно такъ называемые *газы* и на *газы непостоянные* или *пары*. Къ первымъ относятся тѣ изъ нихъ, которые сохраняютъ состояніе своего скопленія при всякомъ давленіи и при всѣхъ возможныхъ пониженіяхъ температуры; какъ напр. *кислородъ*, *водородъ*, *азотъ*, *азотистая окись* и *окись углерода*.

Непостоянные же газы или пары напротивъ легко переходятъ въ жидкое состояніе или отъ усиленнаго давленія или отъ пониженія температуры. Но приведенное нами различіе не должно принимать въ строгомъ значеніи, потому что большое число газовъ, которые прежде считали постоянными, Фарадею и другимъ физикамъ удалось привести въ жидкое состояніе и поэтому мы скорѣе имѣемъ право допустить, что и прочіе газы, принимаемые теперь за постоянные, мог-

ли бы быть также приведены въ жидкое состояніе, если бы мы въ состояніи были подвергнуть ихъ достаточному давленію и холоду. Вотъ почему, употребляя слово *газъ* въ общемъ значеніи, мы должны относить его къ тѣламъ, которыя при обыкновенномъ давленіи и при обыкновенной температурѣ представляются намъ въ воздухообразномъ состояніи, между тѣмъ какъ подъ *парами* должно разумѣть воздухообразное состояніе, принимаемое подъ вліяніемъ теплоты тѣлами, которыя подобно водѣ, спирту, ѳиру суть жидкости при обыкновенныхъ давленіяхъ и обыкновенныхъ температурахъ.

Въ настоящее время въ химіи извѣстны около 34 различныхъ газовъ, между которыми 4 суть тѣла неразлагаемыя или простыя: кислородъ, водородъ, азотъ и хлоръ; 7 изъ нихъ встрѣчаются въ природѣ въ свободномъ состояніи: кислородъ, азотъ, углекислота, окись углерода, углеродистый двухводородный газъ, аммоніакъ и сѣрнистая кислота. Всѣ же другіе получаются химическими средствами.

Переходя къ изслѣдованію свойствъ газовъ намъ должно доказать прежде всего посредствомъ опыта одно изъ главнѣйшихъ явленій, служащее существеннымъ, отличительнымъ признакомъ состоянія ихъ скопленія. Явленіе это есть *расширительная* сила газовъ или стремленіе ихъ частицъ къ занятію большаго объема. Явленіе это можетъ быть обнаружено на опытѣ посредствомъ прибора, называемаго воздушнымъ насосомъ, устройство котораго будетъ объяснено нами впослѣдствіи. Подъ стеклянный колоколъ, помѣщаемый на тарелку воздушнаго насоса кладутъ бычачій пузырь *a* (фиг. 522). Къ стянутому горлу этого пузыря придѣлываютъ мѣдную трубку, запирающуюся и отпирающуюся посредствомъ винта. Пузырь этотъ сжимаютъ нѣсколько, оставляя въ немъ извѣстное количество воздуха и смачиваютъ стѣнки его водою для того, чтобы доставить имъ способность къ удобнѣйшему сжатію и выправленію. Подъ колоколомъ насоса находится воздухъ точно также какъ и во внутренности пузыря.

Фиг. 522.



Если между частицами воздуха существуетъ упругая сила, то оба эти количества воздуха раздѣленныя стѣнками пузыря, находясь въ естественномъ своемъ состояніи должны обнаруживать одинаковую упругую силу и потому мы вправѣ заключить, что обѣ эти упругія силы сохраняютъ равновѣсіе между собою. Но послѣ извлеченія воздуха изъ подъ колокола расширительная сила того количества воздуха, которое заключается внутри пузыря, не будетъ встрѣчать уже сопротивленія упругой силы, дѣйствовавшей прежде на наружную поверхность пузыря; вслѣдствіе того пузырь вздуется какъ и въ томъ случаѣ, когда бы мы вгоняли во внутренность его новое количество воздуха посредствомъ вдыханія. Явленіе это убѣждаетъ насъ прямо въ упругости газа, заключеннаго въ пузырѣ. Впуская снова, посредствомъ особеннаго механизма, воздухъ подъ колоколъ, мы увидимъ, что вздутый пузырь опять приметъ первоначальное свое состояніе, что очевидно происходитъ отъ упругости воздуха, введен-

наго вновь подъ колоколъ. Подобнымъ образомъ можно доказать и упругую силу всѣхъ газовъ.

На основаніи свойства упругости мы имѣемъ право ожидать, что всякій газъ, заключенный въ открытомъ сосудѣ, долженъ тотчасъ оставлять послѣдній. Это бы происходило на самомъ дѣлѣ, если бы сосудъ находился въ пустотѣ; но при обыкновенныхъ обстоятельствахъ выходу газа противится упругая сила наружнаго воздуха, окружающаго сосудъ. Но должно впрочемъ замѣтить, что это *собственно* справедливо только въ томъ случаѣ, когда заключающійся въ сосудѣ газъ есть также воздухъ. И въ самомъ дѣлѣ, опытъ показываетъ, что упругую силу газа можно привести въ равновѣсіе только давленіемъ, производимымъ газообразной массой совершенно одинаковой съ массой заключающейся въ сосудѣ. Такъ напр. давленіе воздуха не можетъ держать въ равновѣсіи упругую силу водорода или углекислоты. Газы эти не будутъ въ такомъ случаѣ улетать изъ заключающихъ ихъ сосудовъ, какъ это происходитъ въ пустотѣ; взамѣнъ того мы найдемъ, что внѣшній и внутренній газы начнутъ быстро смѣшиваться между собою. Впослѣдствіи мы покажемъ какимъ образомъ подтверждается это явленіе.

На основаніи описаннаго нами свойства, желая сохранить всякой газъ отдѣльно въ чистомъ несмѣшанномъ состояніи, мы должны содержать его въ плотно закупоренныхъ сосудахъ. На томъ же самомъ основаніи и полученіе ихъ производится посредствомъ особеннаго способа. Положимъ, что мы желаемъ получить газъ *кислородъ*, который, какъ извѣстно, добывается изъ различныхъ тѣлъ. Мы ограничимся здѣсь полученіемъ кислорода изъ красной ртутной окиси. Одинъ изъ самыхъ простыхъ приборовъ, употребляемыхъ съ этою цѣлію, представленъ па фиг. 523. Онъ состоитъ изъ продолговатаго стекляннаго стаканчика, въ который насыпается ртутная окись: горло этого стаканчика заткнуто пробкой, сквозь которую плотно проткнутъ конецъ изогнутой узкой стеклянной трубки. Другой конецъ трубки, захватываемый сверху щипцами штатива, опускается въ блюдо съ водою и входитъ тамъ въ горло опрокинутой бутылки, которая также наполненна водою. Отъ нагрѣванія лампой ртутной окиси въ стаканчикѣ отдѣляется отъ ней газъ, который проходитъ чрезъ узкую стеклянную трубку и собирается на днѣ опрокинутой бутылки, постоянно вытѣсняя по мѣрѣ своего прибытія заключавшуюся тамъ воду. Прохожденіе газа чрезъ трубку основано на расширительной силѣ его, а поднятіе его чрезъ воду въ опрокинутой бутылкѣ на незначительности его удѣльнаго вѣса сравнительно съ водою. Подобно описанному нами собиранію кислорода

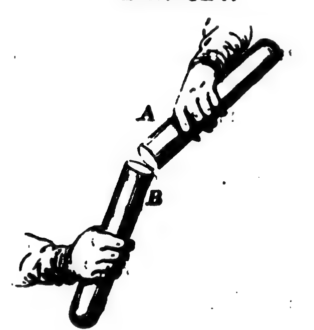
Фиг. 523.



получаются также и другіе газы съ тою только разницею, что употребляемые для того приборы видоизмѣняются согласно со способами употребляемыми для добыванія каждаго газа. Указанный нами образъ добыванія газовъ весьма важенъ также въ томъ отношеніи, что многіе газы, не обладая ни цвѣтомъ, ни запахомъ, не могутъ быть доступны непосредственно нашимъ чувствамъ какъ тѣла твердыя и жидкія.

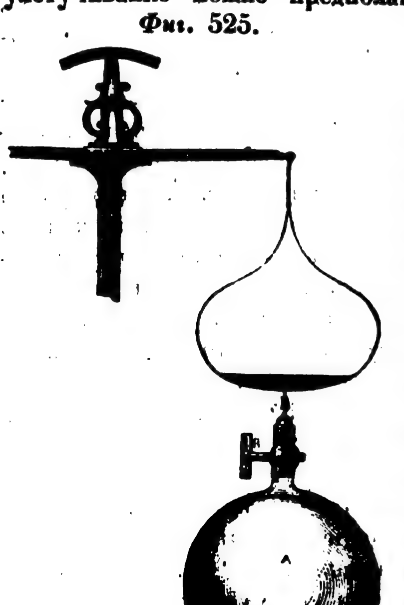
Газы подобно жидкостямъ могутъ быть переливаемы изъ одного сосуда въ другой; опытъ удается весьма хорошо съ углекислотою, которая гораздо плотнѣе противу воздуха. Такъ напримѣръ собравъ газъ въ длинный стаканчикъ (фиг. 524) мы можемъ опрокинуть его противу другаго стаканчика, наполненнаго воздухомъ. Обладая значительнѣйшею плотностію противу воздуха, углекислота опускается медленно изъ верхней бутылки въ нижнюю, вытѣсняетъ изъ послѣдней воздухъ, такъ что, спустя извѣстное время, вся верхняя бутылка будетъ наполнена воздухомъ, а нижняя углекислотою. Въ справедливости этого мы можемъ убѣдиться, погружая въ обѣ бутылки горящую лучинку, которая не можетъ, какъ извѣстно изъ химіи, продолжать своего горѣнія въ пространствѣ наполненномъ углекислотою.

Фиг. 524.



Тяжесть газовъ. § 166. Основываясь на способности газовъ къ расширенію или улетучиванію можно предполагать, что тѣла эти ускользаютъ отъ общихъ законовъ тяжести. Но опытъ показываетъ намъ, что и эти тѣла, не взирая на свою тонкость, покоряются этой силѣ подобно твердымъ и жидкимъ тѣламъ. И въ самомъ дѣлѣ, если взвѣсить на чувствительныхъ вѣсахъ стеклянный шаръ (фиг. 525), въ томъ случаѣ, когда отпертъ винтъ, запирающій его горло, слѣдовательно, когда въ шарѣ заключается воздухъ и если потомъ извлечь этотъ воздухъ посредствомъ воздушнаго насоса и запереть винтъ, то при вторичномъ взвѣшиваніи найдемъ, что вѣсъ шара уменьшится на извѣстное количество, которое очевидно и должно представлять намъ вѣсъ извлеченнаго воздуха.

Фиг. 525.

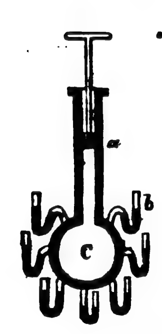


Какъ мы будемъ заниматься въ настоящей статьѣ изслѣдованіемъ механическихъ свойствъ, совершенно

одинаковыхъ для всѣхъ газовъ, то поэтому и ограничимся разсмотрѣніемъ физическихъ свойствъ воздуха какъ газа наиболѣе распространеннаго въ природѣ.

§ 167. Изъ всего сказаннаго нами слѣдуетъ, что газы подвержены постоянно дѣйствію двухъ силъ: расширительной силѣ между ихъ частицами и силѣ тяжести. Какъ газы обладаютъ легкою подвижностію частицъ, то очевидно, что они должны передавать дѣйствія, производимыя обѣими этими силами, какъ собственнымъ своимъ частицамъ, такъ и стѣнкамъ тѣхъ сосудовъ, въ которые они заключены. Распространеніе дѣйствія этихъ силъ совершается въ газахъ по тѣмъ же законамъ, по которымъ происходитъ передача давленій въ жидкихъ тѣлахъ. Однимъ словомъ, законъ *равнаго* давленія или законъ Паскаля одинаково примѣнимъ какъ къ жидкимъ, такъ и къ газообразнымъ тѣламъ. Чтобы убѣдиться въ томъ, что давленіе, производимое на извѣстную часть воздухообразной массы, распространяется равномѣрно по всѣмъ направленіямъ чрезъ всю массу газа, употребляютъ сосудъ, представленный на фиг. 526. Онъ состоитъ изъ стекляннаго цилиндра, оканчивающагося стекляннымъ шаромъ *c*, въ различныхъ частяхъ котораго сдѣланы отверстія, соединяющіяся съ изогнутыми стеклянными трубочками *b*. Если налить въ каждую трубочку немного ртути и сдавить въ шарѣ воздухъ посредствомъ поршня *a*, плотно входящаго въ цилиндръ, то мы увидимъ при этомъ равное поднятіе ртути во всѣхъ трубочкахъ, что нетрудно замѣтить по одинаковому различію уровней ртути во всѣхъ ихъ. Направленія силъ, дѣйствующихъ на свободную поверхность упругихъ жидкостей, подобно тому какъ и у капельножидкихъ тѣлъ, при состояніи равновѣсія должны быть перпендикулярны къ этой поверхности. Законъ равнаго давленія.

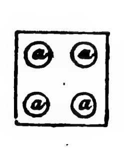
Фиг. 526.

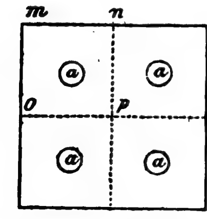


§ 168. Для удобнѣйшаго опредѣленія явленій, происходящихъ отъ совокупнаго дѣйствія расширительной силы и тяжести, мы разсмотримъ дѣйствіе этихъ силъ въ отдѣльности. Зависимость упругости отъ давленія.

Представимъ себѣ, что стѣны сосуда (фиг. 527) будутъ раздвигаться во всѣ стороны и займутъ вчетверо большее пространство (фиг. 528). Очевидно, что и частицы воздуха *a*, *a*, *a*, *a*, удаляясь другъ отъ друга, будутъ слѣдовать за этимъ расширеніемъ. — Въ послѣднемъ случаѣ каждая часть сосуда, равная *mnop*, будетъ выдерживать давленіе только одной частицы *a* или вчетверо меньшее давленіе противу одинаковаго съ нею сосуда (фиг. 527), котораго стѣны выносили давленіе 4 *a*.

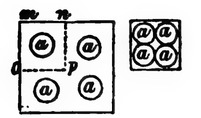
Фиг. 527 и 528.





Но если легкоподвижныя частицы воздуха будутъ до того сдавливаемы между собою (фиг. 529), что частица *a* займетъ четвертую часть первоначальнаго своего состоянія (фиг. 530), то стѣны послѣдняго сосуда будутъ выносить давленіе 4 *a*, тогда какъ равная съ нимъ часть *mnop* (фиг. 529) подвергается только давленію одной частицы *a*. Примѣры эти показываютъ намъ, какое положеніе принимаетъ одно и тоже количество воздуха въ различныхъ состояніяхъ расширенія и упругости. Изъ нихъ видно, что по мѣрѣ увеличенія расширенія одного и того же количества воздуха упругость его уменьшается, тогда какъ отъ сжатія его въ меньшее пространство она увеличивается.

Фиг. 529 и 530.



Справедливость этого мы можемъ повѣрить самымъ простымъ образомъ надъ *бузинныиъ ружьемъ*, служащимъ игрушкою для дѣтей.

Если пространство *A* (фиг. 531) будетъ заперто двумя пробками *p*, *p′*, то подвигая послѣднюю, посредствомъ поршня *S*, мы можемъ сгустить воздухъ въ пространствѣ *A* до такой степени упругости, что передняя пробка *p* выскочитъ наружу съ значительною силою и произведетъ ударъ.

Фиг. 531.



Какое же *именно* отношеніе существуетъ между давленіемъ и упругостію, можетъ быть показано только посредствомъ приборовъ, устройство которыхъ основано на измѣреніи давленія обнаруживаемаго воздухомъ вслѣдствіе дѣйствія тяжести, и потому мы перейдемъ теперь къ разсмотрѣнію и опредѣленію величины послѣдняго давленія.

Атмосфера

§ 169. Воздухъ окружаетъ весь земной шаръ и простирается высоко надъ земною поверхностію, потому что находящіяся въ немъ облака бываютъ одинаково видны какъ надъ долинами, такъ и надъ горами. Вслѣдствіе тяжести эта огромная масса воздуха такъ тѣсно связана съ землею, что производитъ вмѣстѣ съ послѣднею вращеніе вокругъ земной оси по направленію отъ запада къ востоку; если бы при вращеніи земли, окружающій ее воздухъ, находился въ покоѣ, то очевидно, что онъ оказывалъ въ такомъ случаѣ сопротивленіе тѣламъ, обращающимся вмѣстѣ съ землею.

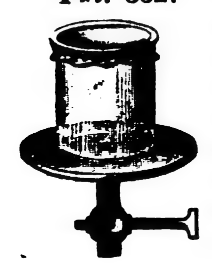
Когда воздухъ находится въ равновѣсіи, то въ каждомъ мѣстѣ его стремленіе воздушныхъ частицъ къ расширенію въ стороны и книзу удерживается въ равновѣсіи упругостію боковыхъ и нижнихъ частицъ; расширенію же кверху противодѣйствуетъ тяжесть, которая притягиваетъ частицы воздуха къ центру земли. Но на каждый слой воздуха, лежащій внутри огромной воздушной массы окружающей землю, кромѣ непосредственнаго притяженія земли дѣйствуетъ также и давленіе или вѣсъ отвѣсно лежащаго воздушнаго столба. Вслѣдствіе этого давленія каждый внутренній слой сгущается, причемъ,

какъ мы уже знаемъ, должна увеличиваться его упругая сила и это увеличеніе упругости будетъ продолжаться до тѣхъ поръ, пока оно не пріобрѣтетъ возможность удерживать въ равновѣсіи давленіе верхняго слоя. Вблизи земной поверхности упругая сила воздуха, какъ и прочихъ газовъ, значительнѣе напряженія тяжести. Но какъ съ удаленіемъ отъ земной поверхности уменьшается высота воздушныхъ столбовъ, а слѣдовательно и величина давленія, производимаго имъ на ниже лежащіе слои, то очевидно, что плотность и упругость каждаго воздушнаго слоя должны быть тѣмъ менѣе, чѣмъ болѣе онъ удаленъ отъ поверхности моря. Вотъ почему воздухъ на горахъ, возвышающихся значительно надъ уровнемъ моря, уже такъ разрѣженъ, что самое дыханіе становится въ немъ затруднительнымъ.

Съ удаленіемъ отъ поверхности моря, кромѣ уменьшенія упругости воздушныхъ слоевъ, уменьшается также и дѣйствіе тяжести на нихъ; но уменьшеніе упругости слѣдуетъ гораздо быстрѣе противу уменьшенія дѣйствія тяжести, поэтому на извѣстномъ удаленіи отъ поверхности моря должны находиться такіе слои воздуха, которыхъ частицы вслѣдствіе своей упругости стремятся удалиться отъ земной поверхности съ тою силою, которая одинакова съ напряженіемъ тяжести, притягивающей ихъ книзу. Эти то самые слои и образуютъ предѣлъ огромной массы воздуха окружающей землю или, говоря другими словами, составляютъ свободную поверхность ея. Видъ этой поверхности при спокойномъ состояніи воздуха долженъ быть одинаковъ съ видомъ земнаго шара, потому что отдѣльныя дѣйствія тяжести, притягивающія частицы воздуха къ средоточію земли, должны быть перпендикулярны къ поверхности воздушной массы, что очевидно только возможно при шарообразной формѣ ея. Вотъ почему говорятъ, что воздухъ составляетъ вокругъ земли оболочку. Оболочку эту называютъ *атмосферою*, что по-гречески значитъ *паровой кругъ*. Высота атмосферы не опредѣлена еще съ точностію: до настоящаго времени, неизвѣстенъ еще законъ, по которому слѣдуетъ уменьшеніе температуры вмѣстѣ съ удаленіемъ отъ поверхности моря, а потому и не можетъ быть въ точности вычисленно уменьшеніе упругости, на которую оказываетъ вліяніе температура. Приблизительно полагаютъ, что высота атмосферы простирается отъ 7 до 9 миль.

§ 170. Для удостовѣренія въ дѣйствительности существованія давленія воздуха производятъ слѣдующій опытъ. Ставятъ на тарелку воздушнаго насоса стеклянную банку (фиг. 532), у которой отдѣлено дно такимъ образомъ, что нижніе края банки могутъ плотно прилегать къ тарелкѣ насоса. Чтобы края эти плотнѣе прилегали къ тарелкѣ, смазываютъ ихъ саломъ; горло же банки, находящееся вверху, обтягиваютъ тонкимъ пузыремъ. Если вытянуть воздухъ изъ пространства, заключающагося внутри банки, то пузырь сперва приметъ дугообразную форму, а потомъ лопнетъ; причемъ бы- *Доказательства давленія воздуха.*

Фиг. 532.



строе врываніе воздуха въ сосудъ обыкновенно сопровождается рѣзкимъ шумомъ.

Въ давленіи воздуха мы можемъ убѣдиться также изъ слѣдующаго простаго опыта, для котораго берутъ кусокъ дерева вѣсомъ отъ 8 до 10 фунтовъ (фиг. 533); на верхней части послѣдняго утверждаютъ кусокъ плотнаго стекла съ ровною и горизонтальною поверхностію. На это стекло кладутъ хорошо вышлифованную мѣдную пластинку, снабженную ручкой. Пластинку легко отдѣлить отъ стекла въ томъ случаѣ, если она опущена медленно безъ всякаго придавливанія, но если прижать пластинку легко на всѣхъ точкахъ ея поверхности, то нельзя уже отдѣлить пластинку отъ стекла, такъ что, поднимая пластинку посредствомъ ручки, мы поднимемъ вмѣстѣ съ нею и самый кусокъ дерева.

Фиг. 533.

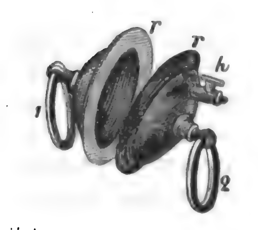


Причина этого различія можетъ быть объяснена слѣдующимъ образомъ: когда пластинка положена слегка на стекло, то въ промежуткѣ между ними остается слой воздуха, который обнаруживаетъ давленіе на пластинку снизу, и поэтому пластинка будетъ находиться въ тѣхъ же самыхъ обстоятельствахъ какъ и въ томъ случаѣ, если бы она находилась въ воздухѣ, т. е. на нее будутъ происходить два взаимно уничтожающіяся давленія одно сверху, а другое снизу. Когда отъ нажима руки удаляется слой воздуха между прикасающимися частями пластинки и стекла, то давленіе воздуха, дѣйствующее на верхнюю часть пластинки, не уравновѣшивается уже съ нижней стороны и потому для отдѣленія пластинки должно побѣдить это давленіе, что достигается въ томъ случаѣ, когда кусокъ дерева достаточно тяжелъ и когда онъ прикрѣпленъ къ землѣ. Но какъ онъ вѣситъ только нѣсколько фунтовъ, то при поднятіи пластинки слѣдуетъ за нею, чему способствуетъ тогда давленіе производимое воздухомъ на нижнюю поверхность дерева.

Описанные нами опыты показываютъ только давленіе атмосферы съ верхней стороны книзу. Но для обнаруженія распространенія во всѣ стороны можетъ служить приборъ, называемый *магдебургскими полушаріями* по имени города, гдѣ онъ былъ изобрѣтенъ.

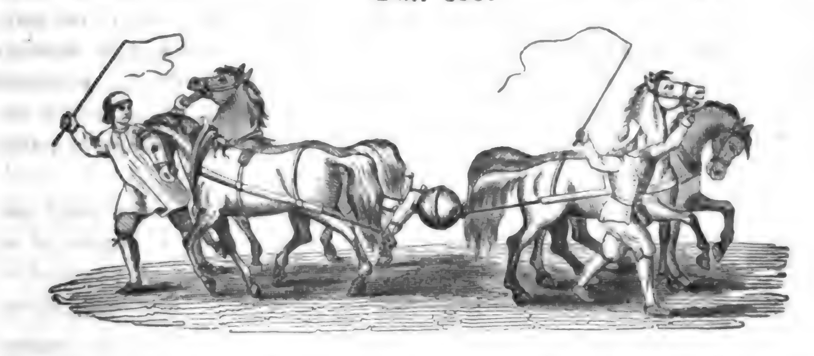
1) Изобрѣтатель этого прибора Отто-Герике приготовилъ два пустыя полушарія *r* и *r* изъ мѣди, которыхъ края (фиг. 534) прикладываются другъ ко другу. — Смазавъ края эти саломъ и приложивъ ихъ плотно другъ ко другу, разрѣживаютъ до самой возможной степени воздухъ въ шарѣ при помощи крана *h*. Полушарія эти, распадавшіяся прежде сами собою, сжимаются такъ сильно отъ давленія наружнаго воздуха, что не могутъ быть разъединены безъ значительнаго усилія, въ какомъ бы направленіи мы не держали приборъ, что служитъ явнымъ доказа-

Фиг. 534.



тельствомъ дѣйствія воздуха по всѣмъ направленіямъ. Давленіе это бываетъ такъ значительно, что даже нѣсколько лошадей, припряженныхъ къ кольцамъ полушарій, не въ состояніи ихъ отдѣлить другъ отъ друга. Любопытный опытъ этотъ (фиг. 535) былъ произведенъ

Фиг. 535.

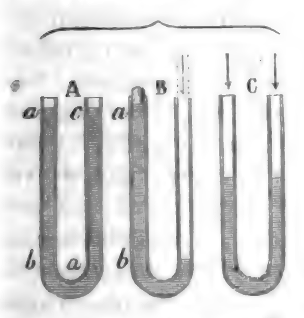


первый разъ въ 1650 году на Имперскомъ Сеймѣ въ Регенсбургѣ, въ присутствіи Императора Фердинанда III, окруженнаго многими Имперскими Князьями, и возбудилъ удивленіе всѣхъ зрителей. Радіусъ этихъ шаровъ равнялся 15 парижскимъ дюймамъ; слѣдовательно поверхность ихъ простиралась до $2827^1/_2$ квадратныхъ дюймовъ. 16 лошадей, припряженныхъ къ кольцамъ полушарій, не въ состояніи были разъединить ихъ.

§ 171. Величина же давленія воздуха можетъ быть опредѣлена различными средствами. Предположимъ, что изогнутая трубка *A* (фиг. 536) наполнена ртутью. Такъ какъ поверхность ртути въ обоихъ рукавахъ трубки должна находиться на одной высотѣ, то изъ этого слѣдуетъ, что ртутный столбъ *ab* находится въ равновѣсіи со столбомъ *cd*. Если отверстіе *a* мы закроемъ плотно пробкою и потомъ осторожно, нагнувъ трубку, выльемъ изъ нея половину ртути, то послѣдняя не будетъ уже стоять въ обоихъ рукавахъ на одной высотѣ, но займетъ мѣсто только въ одномъ рукавѣ, какъ показываетъ *B*. При этомъ очевидно, что гидростатическое давленіе ртутнаго столба *ab* удерживается въ равновѣсіи только давленіемъ на ртуть воздушнаго столба, который находится въ правомъ колѣнѣ и продолжается внѣ трубки на всю высоту атмосферы. Если вынуть пробку изъ отверстія *a*, то ртуть упадетъ мгновенно и займетъ въ обоихъ рукавахъ, какъ показываетъ *C*, одинаковую высоту, потому что теперь воздухъ давитъ съ одинаковою силою на оба отверстія, и тѣмъ самымъ удерживаетъ ртуть въ равновѣсіи.

Величина давленія воздуха.

Фиг. 536.



Опытъ этотъ произойдетъ нѣсколько иначе, если мы употребимъ для него стеклянную трубку (фиг. 537) значительной длины, такъ чтобы каждое колѣно ея простиралось въ высоту почти до 36 дюймовъ. Закрывая отверстіе *a* пробкою, мы увидимъ, что ртуть не останется въ запертомъ колѣнѣ, подобно тому какъ въ трубкѣ *B* (фиг. 536), но опустится до извѣстной точки *c*. Если измѣрить высоту ртутнаго столба въ этомъ колѣнѣ отъ точки *b*, лежащей на одномъ уровнѣ съ поверхностію ртути въ другомъ колѣнѣ до точки *c*, то мы найдемъ, что она будетъ равна 30 дюймамъ или 760 миллиметрамъ.

Фиг. 537.

Отсюда слѣдуетъ, что воздушный столбъ, котораго діаметръ равенъ діаметру трубки, а высота простирается во всю вышину атмосферы, можетъ удерживать въ равновѣсіи ртутный столбъ не произвольной, но *опредѣленной* величины.

Если поперечникъ взятой нами трубки равенъ 1 квадратному дюйму, то давленіе двухъ силъ, удерживающихъ другъ друга въ равновѣсіи, будетъ имѣть слѣдующую величину: съ одной стороны — гидростатическое давленіе ртутнаго столба, имѣющаго 1 квадратный дюймъ ширины и 30 дюймовъ высоты, и слѣдовательно заключающій въ себѣ 30 кубическихъ дюймовъ ртути, а съ другой стороны — давленіе воздушнаго столба, имѣющаго также въ ширину 1 квадратный дюймъ, но за то простирающійся во всю высоту атмосферы.

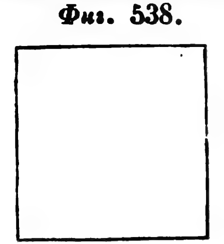
Такой ртутный столбъ вѣситъ около 15 фунтовъ; слѣдовательно и воздушный столбъ, котораго поперечникъ равенъ 1 квадратному дюйму, будетъ вѣсить также 15 фунтовъ.

При этомъ должно замѣтить, что ртутный столбъ *bc* (фиг. 537) служитъ не только мѣрою давленія, обнаруживаемаго атмосфернымъ воздухомъ вслѣдствіе тяжести на поверхность ртути, но даетъ также величину той упругой силы, которою обладаютъ слои воздуха, находящіеся въ соприкосновеніи со ртутью, потому что эта упругая сила удерживаетъ въ равновѣсіи давленіе воздушнаго столба, лежащаго надъ поверхностію ртути. Поэтому, если покрыть изогнутую трубку *ab* стеклянымъ колпакомъ, то высота ртути останется неизмѣнною. Нагрѣвая же воздухъ подъ колпакомъ, и слѣдовательно увеличивая упругую силу его, мы увидимъ, что ртуть поднимается точно также, какъ при охлажденіи воздуха въ колпакѣ она опустится книзу.

Воздухъ, вслѣдствіе своей упругости на каждомъ мѣстѣ земли, передаетъ равномѣрно во всѣ стороны претерпѣваемое имъ давленіе, такъ что всякое окруженное воздухомъ тѣло выноситъ давленіе, соотвѣтствующее упругой силѣ тѣхъ слоевъ воздуха, которые лежатъ на одной высотѣ съ этими точками. Въ горизонтальныхъ слояхъ, отстоящихъ другъ отъ друга только на нѣсколько футъ, разница въ давленіи воздуха весьма незначительна, поэтому, говоря о давленіи, претерпѣваемомъ тѣломъ обыкновеннаго протяженія, какъ наприм.

о давленіи дѣйствующемъ на тѣло человѣка, мы вправѣ сказать, что каждая единица его поверхности выноситъ равное давленіе. Поэтому, желая знать величину давленія атмосферы на поверхность какого нибудь тѣла, намъ должно помножить число дюймовъ (фиг. 538), заключающееся въ этой поверхности, на величину давленія, выносимаго однимъ квадратнымъ дюймомъ, или на 15 фунтовъ. Такъ напр., если поверхность стола имѣетъ 1378 квадратныхъ дюймовъ, то она будетъ претерпѣвать давленіе воздуха въ 20,670 фунта или 1378 × 15.

Фиг. 538.



Поверхность тѣла взрослаго человѣка почти равна 1 квадратному метру. Поэтому давленіе, выносимое каждымъ изъ насъ, приблизительно равно 20,000 фунтамъ. Съ перваго взгляда кажется удивительнымъ, какимъ образомъ человѣкъ можетъ выносить подобную тяжесть. Но должно замѣтить, что это давленіе дѣйствуетъ на человѣка равномѣрно со всѣхъ сторонъ, сверху и снизу, спереди и сзади, справа и слѣва, и поэтому не можетъ служить препятствіемъ при его движеніи. Но при этомъ рождается новый вопросъ: почему же это сильное давленіе, дѣйствующее на человѣка равномѣрно со всѣхъ сторонъ, не сжимаетъ и не сдавливаетъ его въ меньшій объемъ? Для разрѣшенія этого вопроса обратимъ вниманіе на тѣ части, изъ которыхъ состоитъ тѣло человѣка: заключающіяся въ немъ кости въ состояніи выдерживать гораздо значительнѣйшее давленіе; всѣ же воздухообразныя вещества, находящіяся во внутренности нашего тѣла, очевидно противодѣйствуютъ внѣшнему давленію; что же касается до жидкостей, то намъ должно припомнить только незначительность ихъ сжимаемости. Нѣжныя оболочки отдѣльныхъ сосудовъ не могутъ быть также прорываемы внѣшнимъ давленіемъ, потому что оболочки эти претерпѣваютъ равномѣрное давленіе съ обѣихъ сторонъ, какъ съ наружной, такъ и со внутренней. Для раздавливанія этихъ оболочекъ внѣшнее давленіе не имѣетъ достаточной силы, потому что на каждый квадратный миллиметръ приходится давленіе, простирающееся до $^3/_5$ лота. Давленіе воздуха было бы только въ томъ случаѣ ощутительно для насъ, если бы оно дѣйствовало только на одну какую нибудь сторону нашего тѣла въ то время, когда противоположная сторона освобождена отъ этого давленія. Такъ напр., если держать руку надъ отверстіемъ стакана, въ которомъ воздухъ разрѣженъ сожженіемъ бумаги. Давленіе будетъ еще болѣе ощутительнымъ, если отъ одной стороны руки удалить воздухъ посредствомъ воздушнаго насоса.

Какую важную роль играетъ давленіе воздуха въ животномъ организмѣ, показываютъ остроумныя изслѣдованія, произведенныя братьями Веберами.

При разсмотрѣніи костей человѣческаго тѣла представляется слѣдующее явленіе. Съ каждой боковой стороны *таза*, поддерживающаго

Фиг. 539.



верхнюю половину нашего тѣла, находятся гладкія и покрытыя жидкостію углубленія, въ которыя входятъ шарообразныя верхушки двухъ верхнихъ костей ногъ, какъ это можно видѣть изъ фиг. 539, представляющей намъ эти соединенія костей. Передняя часть таза и обѣихъ костей ногъ представлена въ отвѣсномъ разрѣзѣ для того, чтобы можно было лучше видѣть какимъ образомъ послѣднія кости входятъ въ углубленія таза. Какъ верхнія части костей ногъ могутъ легко вращаться въ соотвѣтственныхъ углубленіяхъ таза, то очевидно, что согласно этому вращенію нога можетъ двигаться во всѣ стороны.

Весь составъ обтянутъ плотною оболочкой, которая соединяетъ тазъ съ верхней частію кости ноги. Братья Веберы, производя опытъ надъ трупомъ, отрѣзали тѣ мускулы, которые соединяютъ тазъ съ костями ногъ; нога свободно двигающаяся въ углубленіи таза не упала книзу, до тѣхъ поръ, пока не была прорѣзана плотная оболочка, связывающая углубленіе таза съ верхней частію ноги. Обстоятельство это показываетъ, что не мускулы поддерживаютъ ногу, но собственно давленіе воздуха, дѣйствующее на наружную часть плотной оболочки. Это значитъ, что вѣсъ ноги удерживается въ равновѣсіи давленіемъ, обнаруживаемымъ на нее атмосфернымъ воздухомъ со всѣхъ сторонъ. Поэтому при ходьбѣ мы не должны употреблять никакого усилія, чтобы поддерживать на воздухѣ ту ногу, которая не стоитъ на землѣ, не взирая на то, что вѣсъ ея довольно ощутителенъ.

Справедливость этого заключенія можетъ быть подтверждена слѣдующимъ опытомъ: насквозь кости таза было продѣлано небольшое отверстіе, по направленію къ верхней части кости; нога упала въ то мгновеніе, когда оконечность инструмента достигла до промежуточнаго пространства между внутреннею стороною углубленія таза и верхушкою кости ноги, хотя къ послѣдней не прикасался вовсе инструментъ. Вставивъ послѣ того кость въ углубленіе таза, такъ чтобы между соединенными частями заключалось близкое прикосновеніе и закрывъ отверстіе продѣланное въ тазѣ, нашли, что нога снова удерживалась давленіемъ воздуха; она опять падала, когда открывали отверстіе.

Давленіе воздуха поддерживаетъ одинаковымъ образомъ и руки.

Барометръ. § 172. Описанный нами приборъ (фиг. 537) для измѣренія давленія воздуха весьма неудобенъ при точныхъ изслѣдованіяхъ, потому что въ немъ подъ пробку *a* можетъ проникать воздухъ, упругая сила

котораго будетъ давить на поверхность ртути *c*, чрезъ что ртутный столбъ *bc* не будетъ уже служить точною мѣрою атмосфернаго давленія. Мы перейдемъ теперь къ разсмотрѣнію инструментовъ доставляющихъ точные результаты.

Основаніемъ всѣхъ этихъ инструментовъ служитъ извѣстный опытъ, произведенный въ 1643 году Торричели ученикомъ Галилея.

Поводомъ къ этому опыту было слѣдующее обстоятельство. Древнимъ было извѣстно, что если погрузить трубку въ воду и потомъ посредствомъ вдыханія всасывать въ себя воздухъ, то вода въ противность законамъ гидростатики занимаетъ мѣсто оставленное воздухомъ и поднимается въ трубѣ выше уровня того резервуара, въ который погружена трубка. Для объясненія этого явленія древніе допускали предположеніе, что природа боится пустоты (horror vacui отвращеніе къ пустотѣ) и что на основаніи этого закона она въ состояніи поднять воду и поддерживать ее на извѣстной высотѣ. Считая совершенно удовлетворительнымъ объясненіе этого явленія, они воспользовались имъ для устройства насосовъ, поднимавшихъ воду съ низкихъ мѣстъ на возвышенныя. Для этого вставляли въ воду цилиндрическую трубку, въ которой посредствомъ отвѣснаго стержня двигался сплошной и плотно входящій поршень. Вмѣстѣ съ поднятіемъ послѣдняго поднимали также воду, непосредственно лежавшую подъ нимъ. Во Флоренціи былъ сдѣланъ во время Галилея большой насосъ, посредствомъ котораго желали поднять воду на весьма значительную высоту, но когда вода была поднята въ немъ на высоту 34 футъ, замѣтили съ величайшимъ удивленіемъ, что далѣе этого предѣла вода не поднималась болѣе, несмотря на то, что выше его оставалось еще безвоздушное пространство. Обстоятельство это явно противорѣчило господствовавшему въ то время объясненію поднятія воды. Для объясненія встрѣтившагося противорѣчія обратились къ Галилею, который отвѣчалъ на это съ усмѣшкою, что природа боится пустоты только до 34 футовъ. Современные писатели и біографы его говорятъ, что онъ считалъ самъ это объясненіе неудовлетворительнымъ и предполагалъ причину поднятія воды собственно въ давленіи воздуха, тяжесть котораго ему была извѣстна. Но къ сожалѣнію онъ умеръ, не разрѣшивши положительно этого вопроса, удовлетворительное объясненіе котораго было сдѣлано впослѣдствіи однимъ изъ учениковъ его Торричели.

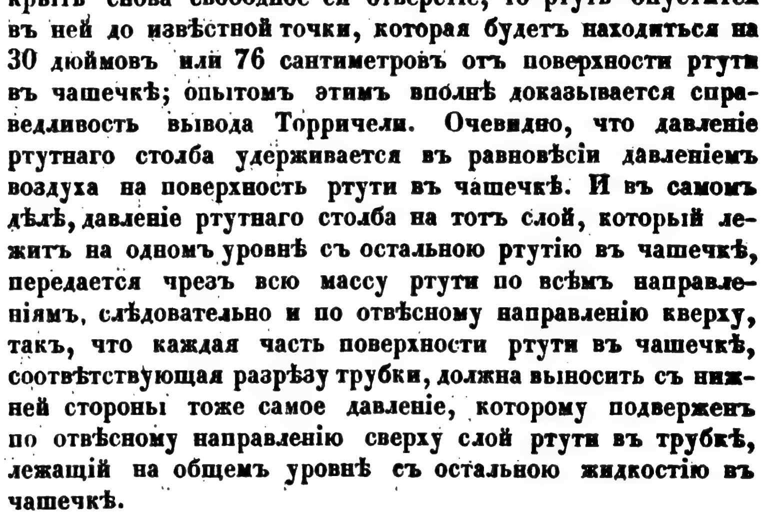
Основаніе его разсужденія поэтому предмету заключалось въ слѣдующемъ. Если представить себѣ, что два столба различныхъ жидкостей удерживаютъ другъ друга въ равновѣсіи, то высоты этихъ столбовъ должны на основаніи гидростатическихъ законовъ быть обратно пропорціональны ихъ плотностямъ. Плотность ртути въ 13,6 разъ болѣе плотности воды. Если давленіе атмосферы дѣйствующее на поверхность воды, окружающей погруженный въ воду поршень, заставляетъ послѣднюю подниматься въ высоту на 34 фута, то очевидно,

что вслѣдствіе того тоже самое давленіе должно поддерживать ртутный столбъ въ $\frac{34}{13,6}$ фут., т. е. почти въ 30 дюймовъ.

Для повѣрки этого разсужденія на опытѣ поступаютъ слѣдующимъ образомъ. Берутъ стеклянную трубку, имѣющую нѣсколько линій въ ширину и нѣсколько болѣе 30 дюймовъ въ длину. Трубка эта, запаянная съ одного конца, совершенно наполняется ртутію, а потомъ закрывается пальцомъ съ открытой стороны для того чтобы при опрокидываніи трубки этимъ концомъ въ чашечку со ртутію послѣдняя не выливалась изъ самой трубки.

Если же по опрокинутіи трубки, какъ показано на фиг. 540, открыть снова свободное ея отверстіе, то ртуть опустится въ ней до извѣстной точки, которая будетъ находиться на 30 дюймовъ или 76 сантиметровъ отъ поверхности ртути въ чашечкѣ; опытомъ этимъ вполнѣ доказывается справедливость вывода Торричели. Очевидно, что давленіе ртутнаго столба удерживается въ равновѣсіи давленіемъ воздуха на поверхность ртути въ чашечкѣ. И въ самомъ дѣлѣ, давленіе ртутнаго столба на тотъ слой, который лежитъ на одномъ уровнѣ съ остальною ртутію въ чашечкѣ, передается чрезъ всю массу ртути по всѣмъ направленіямъ, слѣдовательно и по отвѣсному направленію кверху, такъ, что каждая часть поверхности ртути въ чашечкѣ, соотвѣтствующая разрѣзу трубки, должна выносить съ нижней стороны тоже самое давленіе, которому подверженъ по отвѣсному направленію сверху слой ртути въ трубкѣ, лежащій на общемъ уровнѣ съ остальною жидкостію въ чашечкѣ.

Фиг. 540.



Слѣдовательно равновѣсіе ртути въ чашечкѣ можетъ существовать только тогда, когда атмосферный воздухъ оказываетъ нижнему давленію одинаковое противодѣйствіе сверху, т. е. когда на каждую часть поверхности, соотвѣтствующую разрѣзу трубки происходитъ давленіе ртутнаго столба въ трубкѣ, однимъ словомъ, когда оно равно $h.s$, гдѣ h означаетъ высоту, а s плотность ртути.

Надъ поверхностію ртути въ трубкѣ должно очевидно находиться *пустое* ни чѣмъ незанятое пространство, потому что если бы тамъ находился воздухъ, то упругая сила его заставляла бы понижаться ртутный столбъ, и вслѣдствіе того послѣдній не могъ бы уже служить точною мѣрою атмосфернаго давленія.

Устроенный такимъ образомъ приборъ называется *барометромъ*, самая пустота надъ поверхностію ртути въ трубкѣ *торричеліевой пустотою*. Пустота эта происходитъ отъ того, что для опытовъ берутъ обыкновенно, какъ мы уже сказали, трубку болѣе 30 дюймовъ длиною; если бы мы взяли трубку имѣющую въ точности 30 дюймовъ, то ртуть наполнила бы совершенно всю трубку. Въ послѣднемъ случаѣ затруднительно было бы производить опытъ, потому что тогда отверстіе трубки должно прямо прикасаться къ поверхности ртути

въ чашечкѣ, причемъ воздухъ могъ легко бы проскакивать въ трубку и по легкости своей подниматься кверху.

Чтобы убѣдиться на самомъ дѣлѣ въ томъ, что давленіе ртути дѣйствительно поддерживается давленіемъ воздуха, поступаютъ различнымъ образомъ. Такъ напр. если вмѣсто запаянной сверху трубки употребить трубку обтянутую сверху пузыремъ, который, какъ извѣстно, не пропускаетъ воздуха, и если потомъ сдѣлать въ пузырѣ отверстіе, то увидимъ, что ртуть въ трубкѣ тотчасъ опадетъ и расположится на одномъ уровнѣ съ остальною массою ртути въ чашечкѣ. Въ справедливости выведеннаго нами заключенія можно также убѣдиться другимъ образомъ. Представимъ себѣ, что на одну изъ чашекъ вѣсовъ положена гиря; ясно, что другая чашка тотчасъ поднимется; снявши же гирю съ первой чашка, мы увидимъ, что другая опустится. Обстоятельство это мы можемъ примѣнить къ барометру; положимъ, что отъ какихъ либо причинъ увеличилось давленіе на поверхность ртути въ чашечкѣ, очевидно, что поверхность ртути въ трубкѣ, освобожденная отъ давленія, должна при этомъ подняться точно также, если бы давленіе на поверхность ртути въ чашечкѣ уменьшилось, то поверхность ртути въ трубкѣ должна опуститься.

Мы бы могли подвергать барометръ подобнымъ измѣненіямъ въ давленіи атмосферы, поднимаясь съ нимъ на различныя высоты, гдѣ, какъ мы уже знаемъ, слои атмосферы должны производить различное давленіе. Если дѣйствительно существуетъ зависимость между давленіемъ ртути въ трубкѣ и давленіемъ атмосферы, то барометръ долженъ обнаруживать измѣненія въ давленіи послѣдней при нахожденіи на различныхъ высотахъ. Паскалю первому пришло на мысль повѣрять этимъ путемъ опытъ Торричели. Онъ просилъ одного изъ своихъ родственниковъ опредѣлить высоту барометра на горѣ Пюи-де-Домъ, гдѣ было найдено, что высота ртути въ трубкѣ дѣйствительно понизилась на 6 сантиметровъ, т. е. показывала 70, а не 76.

Не довольствуясь этимъ, Паскаль желалъ повѣрить самъ опытъ Торричели въ 1646 году посредствомъ другой жидкости, которою онъ наполнилъ трубку вмѣсто ртути. Для этого была имъ взята запаянная съ одного конца трубка въ 15 метровъ длины; трубку эту онъ наполнилъ водою и опрокинулъ въ резервуаръ съ тою же жидкостію: вода остановилась въ трубкѣ на высотѣ въ 10^{m} 33, т. е. на высотѣ въ 13, 6 разъ болѣе противу высоты принимаемой ртутію, а какъ вода обладаетъ въ 13, 6 разъ меньшею плотностію противу ртути, то ясно, что вѣсъ столба воды въ трубкѣ Паскаля былъ равенъ вѣсу столба ртути въ трубкѣ Торричели. Это показываетъ, что въ обоихъ случаяхъ высоты жидкостей поддерживаются одинаковымъ давленіемъ атмосферы.

Перейдемъ теперь къ частному разсмотрѣнію устройства барометровъ. Инструментамъ этимъ даютъ различную форму, сообразно съ цѣлію ихъ употребленія. Но при каждой формѣ должны быть выполняемы постоянно извѣстныя условія, если желаютъ, чтобы показанія барометра были точны.

1) Ртуть должна быть весьма чиста, потому что съ прибавленіемъ различныхъ примѣсей должна измѣняться ея плотность; сверхъ того неочищенная ртуть пристаетъ къ стеклу.

Ртуть, обыкновенно встрѣчаемая въ торговлѣ, почти никогда не имѣетъ надлежащей чистоты. Самый лучшій способъ очищенія заключается въ промывкѣ ея въ чистой, но значительно разведенной азотной кислотѣ: погруженная въ этотъ растворъ ртуть взбалтывается нѣсколько разъ.

Если этимъ способомъ желаютъ очистить ртуть отъ всѣхъ нечистотъ, то оставляютъ ее въ кислотѣ въ теченіи нѣсколькихъ недѣль. По удаленіи ртути изъ кислоты должно наблюдать, чтобы въ ней не оставалось даже слѣда кислоты: для этого тщательно промываютъ ее нѣсколько разъ перегнанною водою.

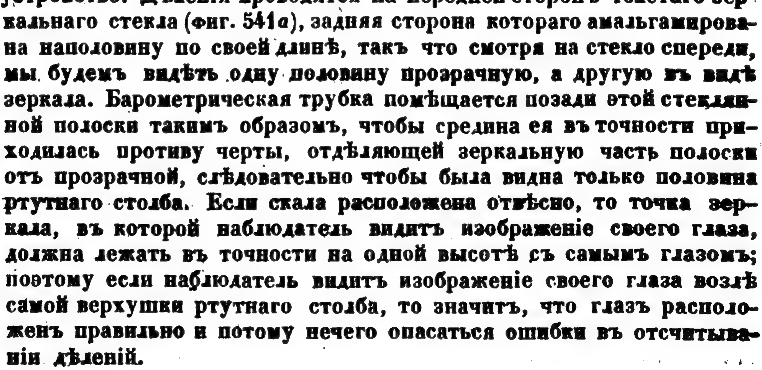
Очищенная ртуть заключаетъ весьма часто въ растворѣ ртутную окись, которая можетъ быть удалена отъ промывки ртути въ слабомъ растворѣ сѣрнистаго аммонія.

2) Высота ртутнаго столба, поддерживаемаго давленіемъ воздуха, должна быть измѣряема съ точностію. Это только тогда возможно, когда барометрическая трубка имѣетъ совершенно вертикальное направленіе. Для измѣренія высоты ртутнаго столба помѣщается возлѣ ея раздѣленная на части линейка, называемая масштабомъ или скалою. На этомъ масштабѣ находится подвижной указатель, который обгибаетъ часть стеклянной трубки и соединяется съ ноніусомъ. Указатель этотъ подвигается по длинѣ трубки къ тому мѣсту, гдѣ останавливается верхушка ртутнаго столба, послѣ чего на ноніусѣ отсчитываютъ число дѣленій, соотвѣтствующее этому мѣсту. При этомъ должно держать глазъ на одной высотѣ съ верхушкою ртути, потому что въ противномъ случаѣ указатель не будетъ приходиться въ точности противу верхушки, а будетъ выше или ниже ея, судя по самому положенію глаза.

Иногда дѣленія проводятся на самой трубкѣ и вытравляются на ней кислотою, или наконецъ помѣщаютъ дѣленія позади трубки, такъ что глазъ, наблюдающій верхушку столба, видитъ прямо соотвѣтствующее ей дѣленіе. Но и въ этихъ случаяхъ можетъ произойти таже ошибка какъ и при указателѣ въ томъ случаѣ, когда глазъ не находится на одной высотѣ съ вершиною ртутнаго столба.

Для устраненія этихъ ошибокъ В. Веберъ придумалъ слѣдующее остроумное устройство. Дѣленія проводятся на передней сторонѣ толстаго зеркальнаго стекла (фиг. 541*a*), задняя сторона котораго амальгамирована наполовину по своей длинѣ, такъ что смотря на стекло спереди, мы будемъ видѣть одну половину прозрачную, а другую въ видѣ зеркала. Барометрическая трубка помѣщается позади этой стеклянной полоски такимъ образомъ, чтобы средина ея въ точности приходилась противу черты, отдѣляющей зеркальную часть полоски отъ прозрачной, слѣдовательно чтобы была видна только половина ртутнаго столба. Если скала расположена отвѣсно, то точка зеркала, въ которой наблюдатель видитъ изображеніе своего глаза, должна лежать въ точности на одной высотѣ съ самымъ глазомъ; поэтому если наблюдатель видитъ изображеніе своего глаза возлѣ самой верхушки ртутнаго столба, то значитъ, что глазъ расположенъ правильно и потому нечего опасаться ошибки въ отсчитываніи дѣленій.

Фиг. 541*a*.



Въ этомъ заключается существенная выгода придуманнаго Веберомъ устройства, которое сверхъ того можетъ даже замѣнить собою самый ноніусъ. Ясно, что въ зеркалѣ мы должны видѣть изображеніе дѣленій, но въ изображеніи разстояніе между двумя дѣленіями должно казаться менѣе противу дѣйствительнаго, потому что изображеніе дѣленій представляется наблюдателю такъ точно, какъ бы они были отодвинуты назадъ на двойную толщину стекла. Слѣдовательно дѣ-

ленія находятся въ такомъ отношеніи къ своимъ изображеніямъ, какъ дѣленія самаго масштаба къ дѣленіямъ ноніуса. Но при точномъ отсчитываніи дѣленій поэтому способу требуется большой навыкъ отъ наблюдателя.

При барометрахъ иногда устроиваютъ лупы для того, чтобы имѣть возможность удобнѣе наблюдать верхушку ртути въ трубкѣ. Понятно, что лупы эти должны быть установлены надлежащимъ образомъ.

3) Мы уже говорили, что надъ вершиною ртути въ трубкѣ должно находиться совершенно безвоздушное пространство. Для достиженія этой цѣли вывариваютъ ртуть въ трубкѣ слѣдующимъ образомъ. Наполняютъ до $^1/_3$ трубки ртутью и нагрѣваютъ по всему протяженію ея трубку, держа послѣднюю надъ раскаленными углями. Послѣ кипяченія ртути прибавляютъ въ трубку новое количество ртути, которая должна быть предварительно нѣсколько нагрѣта, потому что въ противномъ случаѣ трубка можетъ треснуть. Это новое количество прилитой ртути вывариваютъ точно также какъ и предъидущее и поступаютъ такимъ образомъ до тѣхъ поръ, пока вся трубка не будетъ подвержена подобному нагрѣванію. Послѣ того приливаютъ еще немного нагрѣтой ртути для того, чтобы совершенно наполнить трубку. Съ помощію этого способа удаляется какъ воздухъ такъ и влага, пристающіе ко внутреннимъ стѣнкамъ трубки.

Если въ торричеліевой пустотѣ остается еще немного воздуху, то присутствіе его можетъ быть обнаружено слѣдующимъ образомъ: нагибаютъ трубку и смотрятъ, наполнилась ли она совершенно ртутію или остаются еще на вершинѣ трубки пузырьки воздуха. Должно впрочемъ замѣтить, что какъ бы не была чиста ртуть, всегда, спустя извѣстное время, въ пустоту барометра проникаетъ нѣкоторое количество воздуха; происходящая отъ того ошибка въ показаніяхъ барометра очевидно бываетъ тѣмъ менѣе, чѣмъ болѣе самый объемъ, занимаемый торричеліевой пустотою.

Чѣмъ долѣе кипятятъ ртуть въ трубкѣ, тѣмъ площе бываетъ вершина ртутнаго столба, такъ что послѣдняя можетъ быть даже доведена почти до полной горизонтальности. Это принимали прежде за доказательство, что воздухъ совершенно удаленъ изъ трубки; но Дюлонъ показалъ, что выпрямленіе вершины ртутнаго столба происходитъ отъ примѣси незначительнаго количества ртутной окиси, которая увеличивала притяженіе между стекломъ и ртутію. Это притяженіе образуется въ продолженіе вывариванія.

На этомъ основаніи въ новѣйшее время при устройствѣ барометровъ весьма часто не употребляютъ вывариванія, а довольствуются для удаленія воздуха и влаги, пристающихъ къ стеклу, наполненіемъ трубки теплою ртутію. Въ барометрахъ, состоящихъ изъ чашечки и прямой трубки, для наполненія ртути берутъ тонкаго діаметра стеклянную трубку, оканчивающуюся воронкой; трубку эту погружаютъ до самаго основанія барометрической трубки и наливаютъ чрезъ посредство этой длинной воронки теплую ртуть. Но ртуть влитая такимъ образомъ всегда даетъ возвышеніе на своей вершинѣ.

Моръ для избѣжанія продолжительнаго и труднаго нагрѣванія ртути предложилъ соединять наполненную ртутію трубку съ воздушнымъ насосомъ, для того чтобы удалить изъ ртути воздухъ.

Трубки, употребляемыя для барометровъ, не должны быть слишкомъ узки, потому что, какъ было замѣчено выше, небольшой пузырекъ воздуха проникающій въ торричеліеву пустоту оказываетъ тѣмъ меньшее вліяніе на показанія барометра, чѣмъ значительнѣе пространство занимаемое пустотою. Для точныхъ барометровъ употребляютъ трубки, которыхъ діаметръ неменѣе 6‴. Узкія трубки имѣютъ еще то неудобство, что онѣ дѣлаютъ барометры мало чувствительными, потому что при нихъ оказывается значительнымъ треніе ртути о стѣны трубки, въ особенности если въ ртути заключается примѣсь ртутной окиси. Это треніе иногда бываетъ такъ велико, что даже значительныя измѣненія въ давленіи воздуха не могутъ быть обнаруживаемы баромет-

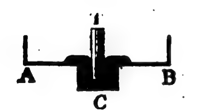
рами съ слишкомъ узкими трубками. Чтобы доставить ртути надлежащую подвижность, обыкновенно встряхиваютъ по временамъ весь инструментъ. Даже въ барометрахъ, употребляемыхъ для показанія погоды, діаметръ трубки не долженъ быть менѣе одной линіи.

Исправленіе барометр. наблюденій. § 173. При наблюденіяхъ посредствомъ барометра должно принимать во вниманіе двѣ ошибки, изъ которыхъ одна можетъ происходить отъ *капилярности*, а другая отъ *температуры*.

Какъ ртуть не пристаетъ къ стеклу, то вслѣдствіе капилярности происходитъ пониженіе ртутнаго столба въ трубкѣ. Для освобожденія показаній барометра отъ этой ошибки прибѣгаютъ къ помощи таблицъ, въ которыхъ показана величина пониженія, соотвѣтствующая трубкамъ различнаго діаметра. Таблицы эти будутъ приведены нами при изложеніи законовъ капилярности. Зная внутренній діаметръ барометрической трубки и величину пониженія соотвѣтствующаго этому діаметру вслѣдствіе капилярности, прибавляютъ эту величину къ найденной высотѣ ртутнаго столба.

Кромѣ того вслѣдствіе волосности происходитъ также пониженіе ртути въ самой чашечкѣ между трубкой и стѣнками. Это пониженіе составляетъ половину пониженія, происходящаго въ трубкѣ, которой діаметръ составляетъ половину разстоянія между трубкой и стѣнками. Слѣдовательно для полученія истинной высоты должно прибавить къ наблюденной высотѣ пониженіе, происходящее въ трубкѣ, и вычесть пониженіе обнаруживаемое чашечкой. Въ барометрахъ, неупотребляемыхъ для переноски, и употребляемыхъ обыкновенно на обсерваторіяхъ, берутъ трубки большаго діаметра и особеннаго устройства чашечку, дающую постоянный уровень. Устройство этихъ чашечекъ основано на свойствѣ большой капли ртути сохранять постоянную высоту: чашечка оканчивается сглаженною горизонтальною поверхностію AB (фиг. 541b), на которой ртуть образуетъ каплю недостигающую до краевъ.

Фиг. 541b



Въ такомъ случаѣ верхній уровень капли постояненъ. Но для этого необходимо, чтобы измѣненія въ давленіи воздуха не были слишкомъ значительны; въ противномъ случаѣ капля можетъ увеличиться и достигнуть краевъ или наконецъ уйти въ C. —

Что же касается до температуры, то должно замѣтить, что при всякомъ измѣненіи ея происходитъ или расширеніе или съуживаніе ртути. Вслѣдствіе измѣненія объема ртути измѣняется плотность ея, а слѣдовательно и высота ртутнаго столба, потому что эта высота на основаніи гидростатическихъ законовъ находится въ обратномъ отношеніи къ плотности жидкости, заключающейся въ трубкѣ. Поэтому при различныхъ давленіяхъ атмосферы мы бы могли имѣть одинаковую высоту ртути въ барометрѣ. Это показываетъ намъ, что при каждомъ наблюденіи должно приводить высоту ртутнаго столба къ той высотѣ, которая соотвѣтствуетъ какой нибудь условной и неизмѣнной температурѣ. За эту условную температуру принимаютъ ту,

которая соотвѣтствуетъ таянію льда. Въ статьѣ о теплотѣ мы покажемъ, какимъ образомъ производится это исправленіе посредствомъ вычисленія. Вліяніе температуры на показанія барометра заставляетъ присовокуплять къ нему термометръ.

Для приведенія высоты барометра къ температурѣ 0° составлены таблицы поправокъ. Таблицы эти могутъ быть найдены въ извѣстномъ французскомъ изданіи: Annuaire du bureau des longitudes, (1833 года).

Кромѣ того отъ перемѣны температуры измѣняется длина самаго масштаба, опредѣляющаго высоту ртутнаго столба. Положимъ, что при извѣстной температурѣ, напр. при 0°, высота послѣдняго приходилась противу 27 дѣленій и что при сохраненіи неизмѣнности прочихъ обстоятельствъ увеличилась только одна температура. Какъ вслѣдствіе этого увеличенія удлиняется масштабъ, то значитъ, что 27-ое дѣленіе, находящееся въ верхней части его, подвинется еще болѣе кверху, такъ что противу высоты ртути придется уже меньшее дѣленіе. Слѣдовательно масштабъ будетъ намъ показывать въ этомъ случаѣ высоту ртутнаго столба менѣе противу настоящей, т. е. той, которая соотвѣтствовала нулю.

Съ пониженіемъ же температуры полоса, на которой проведенъ масштабъ, съузится и потому 27-ое дѣленіе опустится книзу; значитъ, масштабъ будетъ теперь уже показывать высоту ртутнаго столба болѣе противу надлежащей. Изъ этого слѣдуетъ, что теплота, увеличивающая *высоту* ртутнаго столба въ трубкѣ, уменьшаетъ ее дѣйствіемъ своимъ на скалу. Если бы расширенія и съуживанія обнаруживаемыя отъ одного и того же дѣйствія теплоты на ртуть и на вещество масштаба были одинаковы, то очевидно, что на сколько бы поднялась или опустилась вершина ртути, на столько бы поднялось или опустилось и соотвѣтствующее ей дѣленіе масштаба.

Но на самомъ дѣлѣ расширеніе ртути и расширеніе вещества масштаба, который дѣлается изъ латуни, бываютъ различны: расширеніе латуни значительно менѣе противу расширенія ртути. Слѣдовательно при точныхъ наблюденіяхъ, кромѣ приведенія показаній барометра къ 0°, должно еще обращать вниманіе и на различіе расширенія ртути и масштаба.

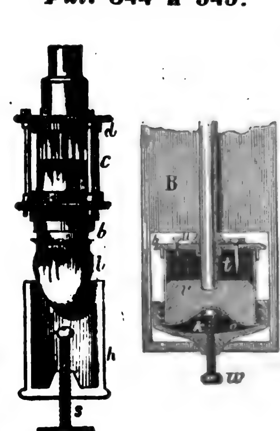
§ 174. Показавъ условія, необходимыя для доставленія показаніямъ барометра точности, перейдемъ теперь къ разсмотрѣнію различнаго рода барометровъ. Различныя устройства барометровъ.

Описанный нами барометръ, состоящій изъ трубки и чашечки, представляетъ большія неудобства при употребленіи его, въ особенности при переноскѣ. Барометръ самаго обыкновеннаго устройства пред-

Фиг. 542 ставленъ на фиг. 542. Загнутая трубка *AB* оканчивается въ немъ шарикомъ *DE*, открытымъ сверху. Высота ртутнаго столба, выносящая давленіе воздуха, измѣряется въ немъ, начиная отъ линіи *mn*, потому что обѣ массы ртути *Bm* и *Bn*, лежащія ниже горизонтальной линіи, удерживаются въ равновѣсіи другъ другомъ. Но этотъ способъ опредѣленія высоты ртути допускаетъ нѣкоторую ошибку въ томъ случаѣ, если началомъ дѣленія масштаба принимается какая нибудь постоянная точка, потому что самая высшая точка ртути въ широкомъ колѣнѣ, отъ которой считается высота ртути въ трубкѣ, поднимается и опускается при каждомъ измѣненіи уровня ртути въ узкомъ колѣнѣ. Но эта ошибка въ барометрахъ, назначаемыхъ для обыкновеннаго употребленія, можетъ быть уменьшена до такой значительной степени, которая позволяетъ совершенно пренебрегать разницею между началомъ дѣленія и верхнею точкою ртути въ уширенномъ колѣнѣ. Для этого широкому колѣну даютъ значительно бо̀льшій діаметръ передъ узкою трубкою. Положимъ, что діаметръ *DE* въ 6 разъ болѣе противу діаметра трубки; слѣдовательно разрѣзъ первой будетъ въ 36 разъ болѣе противъ послѣдней. Поэтому измѣненіе въ высотѣ ртути барометра, равное одной линіи, заставитъ поверхность ртути въ уширенномъ колѣнѣ отодвинуться отъ начала дѣленій масштаба только на $^1/_{36}$ линіи. Понятно, что происходящая при этомъ ошибка въ наблюденіяхъ, производимыхъ не съ ученою цѣлію, можетъ быть совершенно пренебрегаема.

Фиг. 543. На фиг. 543 представленъ этотъ барометръ въ такомъ видѣ, какъ его употребляютъ при обыкновенныхъ ежедневныхъ наблюденіяхъ въ общежитіи. Какъ эти барометры не употребляются для точныхъ измѣреній, то обыкновенно придѣлываютъ масштабъ только къ верхней части трубки.

Фиг. 544 и 545. Значительное улучшеніе въ барометрѣ съ чашечкою сдѣлано Фортенемъ (фиг. 544). Онъ отличается отъ предъидущаго барометра тѣмъ, что въ немъ ртуть нижняго сосуда сохраняетъ постоянный уровень. Дно этого сосуда состоитъ изъ замшеваго мѣшка *l*, лежащаго противу винта *s*. При вращеніи этого винта опускается или поднимается поверхность ртути въ чашечкѣ (фиг. 545). Отъ крышки чашечки опускается книзу остроконечный штифтъ изъ слоновой кости или изъ платины, который отражается на блестящей поверхности ртути. Посредствомъ



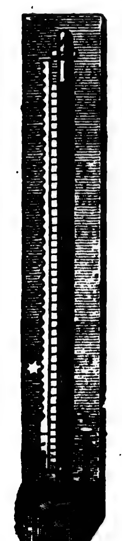
вращенія винта легко приводить поверхность ртути въ точное прикосновеніе съ остроконечіемъ штифта, что происходитъ въ томъ случаѣ, если оконечность штифта прикасается къ оконечности своего изображенія. Эта оконечность и служитъ нулевой точкой скалы барометра.

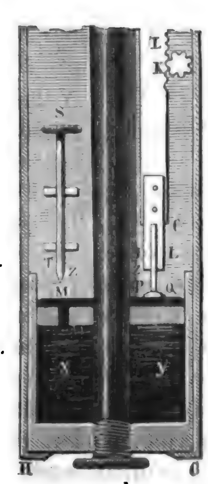
Барометрическая трубка оправляется въ этомъ барометрѣ въ металлическій чехолъ, въ верхней части котораго продѣланы двѣ щели, діаметрально лежащія другъ къ другу (фиг. 546), посредствомъ ихъ наблюдаютъ верхушку ртутнаго столба. На металлической трубкѣ проведены дѣленія, нулевая точка которыхъ соотвѣтствуетъ оконечности штифта, къ которой подводится поверхность ртути. При этомъ устройствѣ можно бы прямо отсчитывать высоту барометрическаго столба по дѣленіямъ трубки; но для избѣжанія ошибки, которая можетъ произойти отъ неправильнаго положенія глаза относительно верхушки ртути къ металлической трубкѣ, придѣлывается снаружи широкое кольцо. Въ этомъ кольцѣ находятся также двѣ щели, соотвѣтственно щелямъ металлической трубки, съ тою только разницею, что первыя сдѣланы шире послѣднихъ, для того, чтобы удобнѣе можно было видѣть чрезъ нихъ дѣленія трубки. Верхніе края обѣихъ щелей кольца лежатъ совершенно на одной высотѣ. Кольцо это устанавливаютъ такъ, чтобы верхушки и оба верхніе края его лежали на одной линіи, т. е. чтобы линія зрѣнія была касательною къ верхушкѣ ртути. Послѣ того стоитъ только обратить вниманіе, какое дѣленіе трубки соотвѣтствуетъ этой линіи зрѣнія. Для опредѣленія частей отдѣльныхъ дѣленій къ кольцу придѣлываетсяноніусъ.

Фиг. 546.

Приведеніе нуля дѣленій скалы достигается также посредствомъ устройства, приданнаго барометру Парротомъ (фиг. 547).

Фиг. 547 и 548.



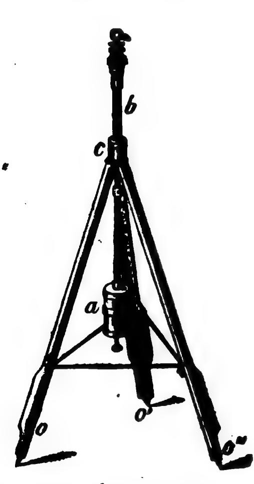


На фиг. 548-й представлена нижняя часть этого барометра, заключающая собственно сущность устройства. Трубка AB опускается въ этомъ барометрѣ въ чашечку, раздѣленную дощечкой ZZ на двѣ части, которыя сообщаются между собою посредствомъ небольшаго отверстія V. Нижняя часть чашечки наполнена совершенно ртутью, которая поднимается выше отверстія V и покрываетъ только одно дно верхней части чашечки. На поверхности ртути въ послѣдней плаваетъ легкій поплавокъ изъ слоновой кости, имѣющій видъ небольшаго полуцилиндра PQ съ расширеннымъ основаніемъ. Верхняя часть этого

поплавка входитъ въ пустоту небольшаго цилиндра изъ слоновой кости, придѣланнаго къ нижней части скалы LL, которая можетъ быть поднимаема и опускаема вдоль барометрической трубки, посредствомъ зубчатаго колеса K. Устройство это даетъ возможность легко приводить начало дѣленій скалы къ поверхности ртути. Съ этою цѣлію на цилиндрѣ F означены части прямой линіи возлѣ J и нижняго L, а на поплавкѣ проведена горизонтально кольцеобразная линія. Посредствомъ зубчатаго колеса K приводятъ обѣ эти линіи въ совпаденіе между собою. Дѣленія на скалѣ проведены такимъ образомъ, что нуль ихъ лежитъ на одномъ уровнѣ съ поверхностію ртути только тогда, когда происходитъ совпаденіе обѣихъ линій, о которыхъ мы говорили выше.

Барометръ этотъ весьма удобно приспособленъ къ переноскѣ. Для этого сперва наклоняютъ немного барометръ къ той сторонѣ, въ которой находится отверстіе V, сообщающее верхнюю и нижнюю части чашечки; во время этого наклоненія ртуть трубки будетъ подниматься въ барометрическую пустоту до тѣхъ поръ, пока не наполнитъ ея совершенно, а ртуть, лежащая на днѣ верхней части чашечки, стекаетъ въ нижнюю часть ея, въ замѣнъ ртути, которая убыла для наполненія пустоты. Потомъ закрываютъ штифтикомъ ST отверстіе V и переворачиваютъ барометръ такъ, чтобы чашечка находилась вверху. Передъ новымъ наблюденіемъ поднимаютъ кверху закрытый конецъ трубки и приведя его въ наклонное положеніе, вынимаютъ штифтикъ изъ отверстія; потомъ приводятъ понемногу трубку въ отвѣсное положеніе, при чемъ ртуть опускается въ трубкѣ и поднимается въ верхнюю часть чашечки до поплавка.

Фиг. 549.

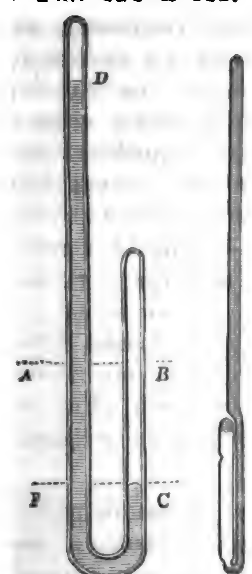


Чтобы при неизбѣжныхъ толчкахъ и сотрясеніяхъ, происходящихъ при переноскѣ барометра съ одного мѣста наблюденія на другое, предохранить его отъ разбитія, употребляютъ различныя устройства, между которыми наиболѣе употребительное представлено на фигурѣ 549-й. Къ этому устройству приспособляются легко барометры Фортеня и Паррота. Для этого въ барометрѣ Фортеня поднимаютъ посредствомъ вращенія винта нижнее дно чашечки до тѣхъ поръ, пока ртуть не займетъ всего пустаго пространства; послѣ того оборачиваютъ барометръ, чрезъ что ртуть чашечки закрываетъ отверстіе трубки. Во время переноски, ножки, на которыхъ обыкновенно устанавливается барометръ, сближаются, въ углубленія выдающихся частей ихъ входитъ чашечка.

Но гораздо удобнѣе для переноски *сифонный барометръ*, устроенный Гэ-Люссакомъ. Основанія этого барометра заключаются въ слѣдующемъ. Представимъ себѣ, что мы имѣемъ изогнутую стеклянную трубку, имѣющую по всей длинѣ своей одинаковый діаметръ, и что

эта трубка наполнена ртутью, которая вслѣдствіе давленія воздуха,

Фиг. 550 и 551.



проходящаго чрезъ небольшое отверстіе, приняла положеніе DC (фиг. 550). Если провести отъ какой нибудь точки трубки произвольную горизонтальную линію AB и потомъ измѣрить разстоянія ея до уровней ртути C и D, то сумма обоихъ этихъ разстояній дастъ намъ высоту ртутнаго столба FD. Устроенные на этихъ началахъ барометры, представляютъ кромѣ удобства переноски еще ту важную выгоду, что въ нихъ высота ртутнаго столба не зависитъ отъ капилярности. И въ самомъ дѣлѣ, какъ оба рукава этого барометра имѣютъ одинаковый діаметръ, то очевидно, что на сколько понизится ртуть отъ капилярности въ верхнемъ колѣнѣ, на столько она понизится отъ той же причины и въ нижнемъ: слѣдственно высота ртутнаго столба будетъ одинакова какъ и въ томъ случаѣ, когда бы капилярности не существовало. Къ неудобствамъ этого барометра должно отнести треніе ртути объ стѣнки узкой трубки и потому онъ требуетъ встряхиванія при наблюденіяхъ.

Частное устройство барометра Гэ-Люссака основано преимущественно на приспособленіи его къ переноскѣ. На фиг. 551 представлена трубка, служащая основаніемъ этого барометра; въ нижнемъ колѣнѣ ея находится небольшое отверстіе, величина котораго разсчитана такимъ образомъ, чтобы посредствомъ него могъ проникать въ трубку воздухъ, но чтобы ртуть не могла выливаться изъ трубки. Поэтому трубку можно переворачивать нисколько не опасаясь пролитія ртути.

Это удобство, основанное на желаніи приспособить барометръ къ переноскѣ, по замѣчанію Реньо, лишаетъ барометръ чувствительности. И въ самомъ дѣлѣ барометръ долженъ показывать намъ самыя малѣйшія разности въ давленіи атмосферы: чѣмъ уже отверстіе, чрезъ которое проникаетъ воздухъ во внутренность трубки, тѣмъ очевидно менѣе могутъ быть обнаруживаемы разности въ упругости его.

Для того, чтобы воздухъ не могъ проникать изъ одного колѣна въ другое и попадать такимъ образомъ въ торричеліеву пустоту, оба колѣна соединены между собою капилярною трубкой. При оборачиваніи барометра трубка эта всегда бываетъ наполнена ртутію, и представляетъ поэтому сопротивленію къ прохожденію воздуха въ длинное колѣно. Впрочемъ при сильныхъ толчкахъ небольшая колонна ртути, заключающаяся въ этой трубкѣ, можетъ также разъединяться и чрезъ то доставлять возможность воздуху проходить изъ короткаго въ длинное колѣно.

Для устраненія этого неудобства Бунтенъ придалъ трубкѣ барометра нѣкоторое измѣненіе, представленное на фиг. 552. Капилярная трубка вмѣсто непосредственнаго соединенія съ высокимъ колѣномъ припаивается къ трубкѣ *K*, имѣющей бо́льшій діаметръ противу послѣдняго; въ эту трубку *K* проходитъ заостренный конецъ верхняго колѣна. При такомъ устройствѣ пузырьки воздуха, проходящіе въ капилярную трубку, никакъ не могутъ уже пробраться въ торричеліеву пустоту чрезъ заостренный конецъ колѣна *A*; пузырьки эти собираются надъ поверхностію ртути въ трубкѣ *K*, но они не могутъ оказывать никакого вліянія на показанія барометра, потому что пустота всегда существуетъ въ вершинѣ трубки *A*. Той же самой цѣли достигаютъ посредствомъ устройства, представленнаго на фиг. 553.

Фиг. 552 и 553.

Фиг. 554.

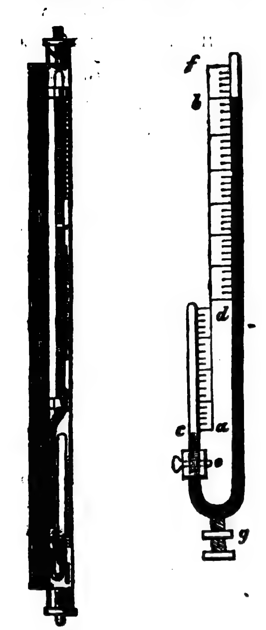
Въ сифонномъ барометрѣ поверхность ртути, подверженная давленію воздуха, измѣняетъ свое положеніе; поэтому нулевая точка, отъ которой должно начинаться отсчитываніе высоты ртутнаго столба, можетъ подниматься и опускаться. Вотъ почему масштабъ въ сифонномъ барометрѣ дѣлается подвижнымъ, такъ чтобы нулевую точку можно было подводить къ мѣсту, на которомъ останавливается верхушка ртути нижняго колѣна. При этомъ должно замѣтить, что въ бо́льшей части сифонныхъ барометровъ трубки имѣютъ такую кривизну, которая позволяетъ нижнему колѣну быть на одной прямой линіи съ верхнимъ. Подобное расположеніе позволяетъ отсчитывать положеніе уровней ртути въ обоихъ колѣнахъ на одной скалѣ. Вмѣсто подвижной скалы дѣлаютъ такія, у которыхъ нуль приходится противу средины длиннаго колѣна; тогда отсчитываютъ на сколько верхній уровень лежитъ выше, а другой уровень ниже нуля; сумма отсчитываній даетъ намъ высоту ртутнаго столба.

Въ сифонныхъ барометрахъ дѣленія вытравляются весьма часто на самой трубкѣ. На фиг. 554-й представленъ одинъ изъ употребительныхъ видовъ сифоннаго барометра.

Если бы масса ртути отъ измѣненія температуры не измѣнялась въ объемѣ, то достаточно было бы отсчитывать только положеніе одного уровня ртути, потому что при неизмѣнномъ состояніи температуры отъ перемѣны давленія воздуха ртутный столбъ поднимается въ одномъ колѣнѣ на столько, на сколько онъ опускается въ другомъ; слѣдовательно по положенію одного колѣна можно судить и объ другомъ. Но это справедливо только до тѣхъ поръ, пока не измѣ-

мѣется температура, которая оказываетъ различное вліяніе на столбы ртути различной высоты; а какъ эти измѣненія происходятъ постоянно, то мы должны ограничиваться наблюденіемъ обоихъ уровней.

Фиг. 555 и 556.



Сифонные барометры, занимая мало мѣста, могутъ быть легко приспособлены къ переноскѣ; обыкновенно ихъ помѣщаютъ въ углубленіи палки, оставляя для наблюденія небольшія дверцы (фиг. 555).

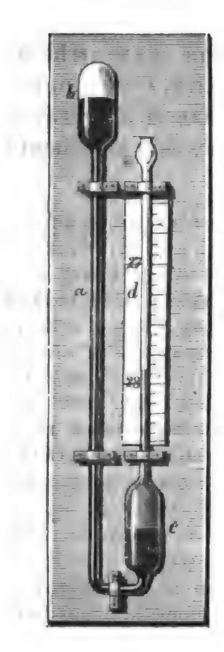
Весьма удобенъ также для путешествій барометръ, устройство котораго представлено въ общихъ чертахъ на фиг. 556-й. Онъ состоитъ изъ загнутой внизу стеклянной трубки, образующей два колѣна. Оба колѣна должны имѣть одинаковую ширину въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ происходитъ измѣненіе высоты ртутныхъ столбовъ; нижняя часть можетъ имѣть произвольную ширину. Для опредѣленія различій давленія воздуха, производящихъ различія уровней ртути въ закрытомъ длинномъ и въ открытомъ короткомъ колѣнѣ, посредствомъ винта *g* барометрическая трубка подводится на столько кверху, пока начало дѣленія мѣдной скалы *ab* не совпадетъ съ уровнемъ ртути *c* въ нижнемъ колѣнѣ. Для переноски барометра переворачиваютъ его и запираютъ ртуть въ длинномъ колѣнѣ поворотомъ крана *o*, ртуть же, оставшуюся надъ краномъ, запираютъ пробочкой.

Вѣсъ атмосфернаго воздуха, находящагося надъ нами, подверженъ различнымъ вліяніямъ. Постоянное измѣненіе температуры, вѣтры, измѣняющееся количество распространенныхъ въ воздухѣ водяныхъ паровъ производятъ въ давленіи воздуха безпрерывныя измѣненія, которыя имѣютъ вліяніе на барометръ. Вотъ почему на одномъ и томъ же мѣстѣ высота ртутнаго столба съ барометрѣ не можетъ оставаться постоянною, а бываетъ подвержена болѣе или менѣе значительнымъ перемѣнамъ. Въ нашихъ странахъ можно сказать не проходитъ ни одного дня безъ того, чтобы состояніе барометра не измѣнялось на нѣсколько миллиметровъ. Вообще различаютъ два рода измѣненій принимаемыхъ барометромъ: измѣненія *періодическія* и измѣненія *случайныя*. Первыя совершаются правильно въ опредѣленныя времена и имѣютъ постоянную величину; напротивъ того послѣднія бываютъ не правильны, такъ что нельзя заранѣе опредѣлить ни времени, ни величины ихъ измѣненія; мы будемъ говорить объ этихъ измѣненіяхъ подробнѣе въ Метеорологіи; здѣсь же упоминаемъ о нихъ только для того, чтобы показать различныя измѣненія въ устройствѣ барометра, придуманныя для опредѣленія этихъ измѣненій.

Измѣненія въ состояніи барометра на одномъ и томъ же мѣстѣ весьма незначительны и потому, чтобы сдѣлать ихъ болѣе очевидными, придуманы нѣкоторыя особенныя устройства, которыя всѣ впрочемъ допускаютъ различныя ошибки въ показаніяхъ барометра.

Наиболѣе употребительнѣйшія устройства сдѣланы *Гюйгенсомъ* и *Гукомъ*.

Фиг. 557.



На фигурѣ 557-й представленъ барометръ, устроенный *Гюйгенсомъ*. Барометрическая трубка *a* расширяется вверху у *b*, тамъ, гдѣ находится торричеліева пустота и у *c*, гдѣ на ртуть наливается другая менѣе плотная жидкость. Къ сосуду *c* припаяна узкая трубка *d* открытая сверху. Вслѣдствіе такого устройства легчайшая жидкость, для которой выбираютъ или подкрашенную воду или подкрашенный винный спиртъ, при малѣйшемъ измѣненіи уровня ртути въ *c* переходитъ изъ этого сосуда въ узкую трубку и дѣлаетъ такимъ образомъ незначительныя измѣненія ртути достаточно замѣтными.

Сосудъ *b* имѣетъ одинаковый діаметръ съ сосудомъ *c*; положимъ, что трубка *d* имѣетъ въ *n* разъ меньшій разрѣзъ противу каждаго сосуда. Если ртутный столбъ понижается у *b* на x линій, то очевидно, что на столько же линій повышается уровень ртути въ *c*, между тѣмъ какъ окрашенная жидкость въ трубкѣ *d* должна подниматься на nx линій; слѣдовательно высота окрашенной жидкости увеличилась на $(n-1)x$ линій. Столбъ этой жидкости въ $(n-1)x$ линій давитъ съ одинаковою силою, какъ и столбъ ртути высотою въ $\frac{(n-1)x}{s}$ линій, въ томъ случаѣ, если s есть число показывающее, во сколько разъ плотность окрашенной жидкости менѣе плотности ртути. Значитъ, когда ртуть понижается въ *b* на x линій, то высота ртутнаго столба y, соотвѣтствующая уменьшенію давленія воздуха, будетъ равна $2x+\frac{n-1}{s}x$. Откуда получится, что $x=\frac{sy}{2s+n-1}$. Положимъ напр., что разрѣзъ трубки *d* въ 20 разъ менѣе противу *b* и *c*, и что окрашенная жидкость есть вода, которая имѣетъ въ 13,6 разъ меньшую плотность противу ртути, т. е. $n=20$, а $s=13{,}6$. Подставляя эти числа въ выраженіе, найденное для x, будемъ имѣть $x=\frac{13{,}6}{2.13{,}6+20-1}$ $=0{,}294y$.

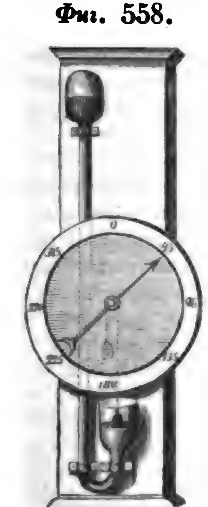
Если обыкновенный барометръ опадаетъ на y линій, то ртуть опадаетъ въ *b* на $0{,}294y$ линій, а окрашенная жидкость поднимается въ *d* на $5{,}88y$ линій. Поэтому, когда обыкновенный барометръ поднимается или опускается на 1 линію, то окрашенная жидкость въ барометрѣ Гюйгенса поднимается или опускается на 5,88 линій, т. е. почти въ 6 разъ болѣе.

Барометръ Гюйгенса весьма удовлетворителенъ для тѣхъ случаевъ, когда имѣютъ въ виду наблюдать измѣненія барометра, а не абсолютную высоту ртутнаго столба. На масштабѣ, помѣщаемомъ позади трубки *d*, обыкновенно опредѣляютъ двѣ точки близь верхняго и нижняго концовъ ея посредствомъ сравненія съ правильнымъ или, говоря иначе, *нормальнымъ* барометромъ. Опредѣливъ эти точки, раздѣляютъ на части промежуточное разстояніе.

Улучшеніе, сдѣланное въ барометрѣ *Гукомъ*, заключается въ слѣдующемъ:

На поверхность ртути, доступную воздуху, кладется небольшая желѣзная гирька (фиг. 558), которая плаваетъ на ртути. Чтобы не стѣснить движенія гирьки, ту часть прибора, въ которой она находится, дѣлаютъ уширенною; вслѣдствіе чего и верхняя часть трубки, гдѣ находится торричеліева пустота, должна быть также одинаково расширена. Къ гирькѣ привязанъ снурокъ, который навертывается на блокъ и имѣетъ на противоположномъ концѣ другую гирьку меньшаго вѣса. Когда отъ измѣненія давленія воздуха ртуть поднимается или опускается, то движенія эти передаются гирькѣ, которая посредствомъ снурка передаетъ ихъ въ свою очередь блоку. На оси послѣдняго укрѣплена длинная стрѣлка, которая повторяетъ движенія блока и увеличиваетъ ихъ во столько разъ, во сколько длина ея болѣе діаметра блока. Но должно замѣтить, что при этомъ устройствѣ наблюденія зависятъ отъ всѣхъ неравенствъ причиняемыхъ треніемъ; наклоненія нити и т. п. причинъ.

Фиг. 558.



Что же касается до другихъ приборовъ, предложенныхъ съ тою же цѣлію, то всѣ они имѣютъ главнѣйшій недостатокъ, что уменьшаютъ движеніе ртути и дѣлаютъ поэтому небольшія измѣненія незамѣтными. Вотъ почему для научныхъ изслѣдованій, гдѣ требуется большая степень чувствительности, гораздо лучше употреблять, вмѣсто нихъ, сифонный барометръ или барометръ съ чашечкою, наблюдая только, чтобы дѣленія какъ масштаба, такъ и ноніуса были тщательно вывѣрены.

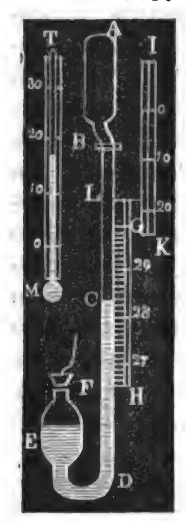
Если бы кто захотѣлъ употребить для барометра воду вмѣсто ртути, то трубка должна бы быть въ четырнадцать разъ длиннѣе; такой барометръ въ новѣйшее время былъ устроенъ въ Лондонѣ Даніэлемъ. Какъ по причинѣ значительной длины трубки, нельзя употреблять обыкновеннаго способа для ея наполненія, то поступаютъ слѣдующимъ образомъ. Оставляя верхній конецъ ея открытымъ, плотно вставляютъ ее въ крышку небольшаго пароваго котла, откуда вода, вслѣдствіе давленія паровъ, вытѣсняется кверху. Поднимающаяся вода наполняетъ постепенно всю трубку и вытекаетъ наконецъ изъ верхняго ея конца, оканчивающагося волосною трубкою, которая тогда мгновенно запаивается. Потомъ открываютъ котелъ, для того, чтобы доставить возможность воздуху проникать въ него; тогда вода опускается въ трубкѣ до тѣхъ поръ, пока не достигнетъ высоты, соотвѣтствующей давленію воздуха, что бываетъ около 34 футовъ.

Воду въ резервуарѣ покрываютъ слоемъ масла, для того, чтобы воспрепятствовать ей испаряться и поглощать въ себя воздухъ. На верхней части трубки находится масштабъ, а чтобы можно было принять во вниманіе вліяніе теплоты, для этого, прежде чѣмъ запаяютъ трубку, помѣщаютъ на трехъ различныхъ мѣстахъ термометры, потому что теплота можетъ быть неодинакова.

Показанія этого барометра совершенно согласны съ ртутнымъ барометромъ, только надобно кромѣ теплоты, которая расширяетъ воду гораздо сильнѣе, нежели ртуть, обращать вниманіе также и на водяные пары, образующіеся въ безвоздушномъ пространствѣ, вліяніе которыхъ гораздо больше, нежели вліяніе ртутныхъ паровъ въ обыкновенномъ барометрѣ, потому что вода легче испаряется противу ртути.

Другой родъ прибора для измѣренія давленія воздуха, называемый *симпіезометромъ*, изобрѣтенъ англичаниномъ Адиномъ (фиг. 559). Онъ состоитъ изъ стеклянной трубки *ABCDE*, верхняя часть которой *A* расширена и вмѣстѣ съ частью трубки до *C* наполнена водороднымъ газомъ; загнутая часть *CDE* наполнена миндальнымъ масломъ. Когда давленіе воздуха увеличивается, тогда масло въ трубкѣ *BD* поднимается, если же давленіе уменьшается, то водородный газъ, вслѣдствіе своей расширяемости, подвигаетъ его назадъ. Этотъ приборъ очень чувствителенъ и обыкновенно употребляется на корабляхъ, частію по своей чувствительности, а отчасти потому, что при качкѣ корабля масло приходитъ не въ столь сильное движеніе какъ ртуть; но онъ имѣетъ тотъ недостатокъ, что измѣненія температуры оказываютъ на него весьма значительное вліяніе, потому что водородный газъ, какъ и прочіе газы, на каждый градусъ термометра расширяется около 0,00367 своего объема. Поэтому симпіезометръ долженъ быть снабженъ точнымъ термометромъ, который бы позволялъ дѣлать необходимыя поправки. Вообще инструментъ устроивается такъ, чтобы на немъ безъ дальнѣйшихъ вычисленій можно было видѣть высоту ртути, которая соотвѣтствуетъ высотѣ масла при температурѣ, указываемой термометромъ. Это дѣлается такимъ образомъ: *GH* есть подвижной масштабъ, который можно двигать параллельно съ раздѣленной на части металлической полоской *IK*; градусы на этой полоскѣ, надписаны въ обратномъ порядкѣ къ градусамъ масштаба *GH*. На подвижномъ масштабѣ находится знакъ *L*, который ставится прямо передъ тѣмъ градусомъ на *IK*, какой показываетъ термометръ. Въ такомъ случаѣ точка на масштабѣ, лежащая противу *C*, будетъ показывать высоту ртутнаго столба, соотвѣтствующаго высотѣ масла.

Фиг. 559.



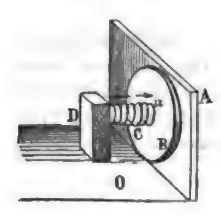
Но кромѣ барометровъ съ жидкостію, переноска которыхъ сопряжена всегда съ большими или меньшими неудобствами, устраиваютъ также барометры металлическіе. Изъ этихъ барометровъ мы опишемъ только такъ называемый *анероидный* барометръ и *металлическій* барометръ французскаго механика *Бурдона*.

Первая мысль устройства анероиднаго барометра родилась, во время египетской экспедиціи французовъ, у французскаго ученаго Конте, но самый барометръ былъ устроенъ *Види* и потому иногда носитъ его названіе.

Въ ртутномъ барометрѣ, какъ мы уже видѣли, между пустотою и атмосфернымъ воздухомъ находится ртуть, которая величиною своихъ движеній по трубкѣ показываетъ величину измѣненій атмосфернаго давленія.

Представимъ себѣ, что пустота находится внутри плотно замкнутой металлической табакерки *B* (фиг. 560), одна стѣнка которой прилегаетъ къ плотной неподвижной стѣнѣ *A*, а другая непосредственно подвержена съ наружной стороны атмосферному давленію. Чтобы воспрепятствовать этому давленію измѣнять положеніе обращенной къ нему стѣнки, соединяютъ послѣднюю съ пружиною *C*, которая прикрѣплена къ какому нибудь неподвижному предмету *D*. Изъ подобнаго расположенія слѣдуетъ, что стѣнка

Фиг. 560.



табакерки, обращенная къ воздуху подвержена двумъ противоположнымъ дѣйствіямъ — давленію атмосферы и упругости пружины, изъ которыхъ первая заставляетъ стѣну двигаться ко внутренней сторонѣ табакерки, а послѣдняя побуждаетъ ее двигаться въ противоположную сторону по направленію къ неподвижному предмету. Положимъ, упругость пружины разсчитана такимъ образомъ, что въ состояніи противиться давленію атмосферы, соотвѣтствующему 30 дюймовому ртутному столбу барометра. Ясно, что при такомъ равновѣсіи противоположныхъ силъ, обращенная къ воздуху стѣнка табакерки будетъ находиться въ покоѣ. Какъ при этомъ напряженіе упругости пружины остается постояннымъ и можетъ только измѣняться давленіе атмосферы, то при перевѣсѣ давленія надъ упругостію пружины, т. е. когда увеличится первое, стѣнка будетъ двигаться ко внутренней сторонѣ табакерки, точно также какъ при уменьшеніи давленія, когда перевѣсъ будетъ на сторонѣ упругости пружины, стѣнка будетъ покоряться увлекающему дѣйствію преобладающей силы, т. е. произведетъ движеніе по направленію дѣйствія пружины. По различію и по величинѣ этихъ движеній стѣнки, мы можемъ очевидно судить и о различныхъ измѣненіяхъ въ давленіяхъ атмосферы. Поэтому при устройствѣ этого прибора должно имѣть въ виду три главнѣйшія обстоятельства. Вопервыхъ, устроить стѣнку такъ, чтобы она была какъ можно болѣе воспріимчива къ измѣненіямъ давленій атмосферы и была бы сверхъ того подвижна. Вовторыхъ, какъ измѣненія въ давленіи атмосферы могутъ быть весьма незначительны, то чтобы имѣть возможность наблюдать за соотвѣтственными имъ движеніями стѣнки, должно придумать такой механизмъ, который обнаруживалъ бы эти движенія въ увеличенномъ видѣ. Въ третьихъ, должно имѣть въ виду, чтобы всѣ равныя между собою измѣненія въ давленіи атмосферы, согласовались съ соотвѣтственными и равными показаніями правильнаго ртутнаго барометра.

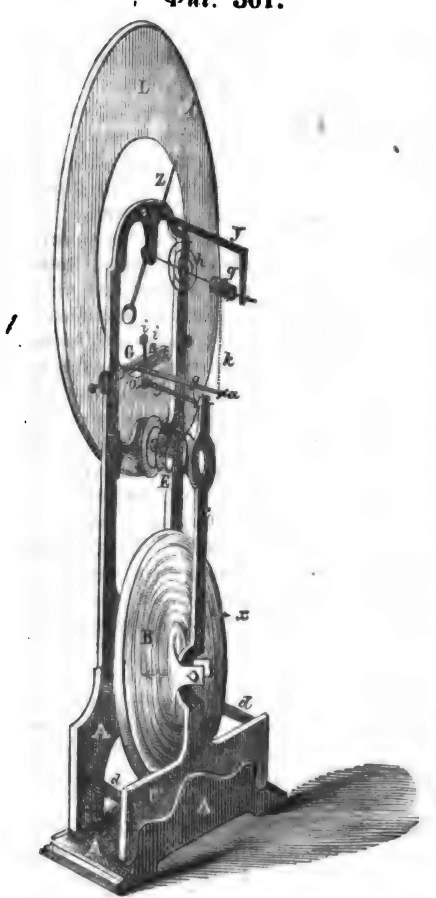
Для достиженія перваго изъ этихъ условій, стѣнки табакерки дѣлаютъ изъ тонкой мѣди, поверхность которой выточена такимъ образомъ, что представляетъ собою рядъ послѣдовательныхъ небольшихъ углубленій и возвышеній, образующихъ вмѣстѣ послѣдовательный рядъ концентрическихъ круговъ, начиная отъ центра табакерки. Рядъ этихъ углубленій и возвышеній представляетъ нѣчто подобное съ рядомъ волнъ, образующихся вокругъ камня, отвѣсно брошеннаго въ воду. Второе условіе достигается системою рычаговъ, которая, какъ мы уже знаемъ изъ механической статьи, можетъ быть употреблена для представленія незначительнаго движенія въ увеличенномъ видѣ. Наконецъ, третіе условіе достигается сравненіемъ показаній анероиднаго барометра съ сифоннымъ барометромъ: для этого ставятъ оба прибора подъ колоколъ насоса и по мѣрѣ уменьшенія количества заключающагося тамъ воздуха, а слѣдовательно и по мѣрѣ уменьшенія его упругости, уравниваютъ показанія анероиднаго барометра съ сифоннымъ посредствомъ измѣненія упругости пружины, противодѣйствующей давленію воздуха.

Всѣ эти обстоятельства, въ особенности второе, достигаются на практикѣ различнымъ образомъ. Мы опишемъ здѣсь какъ способъ устройства, такъ и самое расположеніе частей анероиднаго барометра, придуманные берлинскимъ механикомъ и оптикомъ Эртлингомъ, который доставилъ анероидному барометру большую степень точности.

Устройство это важно въ учебномъ отношеніи, потому что оно позволяетъ обнимать за разъ всѣ части прибора, чего нельзя сдѣлать въ анероидномъ барометрѣ Види, гдѣ весь механизмъ заключается внутри закрытой табакерки. Главнѣйшее же достоинство устройства сдѣланнаго Эртлингомъ заключается въ тѣхъ поправкахъ, посредствомъ которыхъ можно доставлять показаніямъ барометра большую точность.

Барометръ Эртлинга, представленный на фиг. 561-й, состоитъ изъ пяти важнѣйшихъ частей: изъ прочнаго чугуннаго статива *A A A*, къ которому прикрѣпленъ весь механизмъ, изъ тонкостѣнной мѣдной табакерки *B*, изъ стальной пружины *E*, изъ системы рычаговъ *C* и *g* и наконецъ изъ циферблата *L*, по которому движется указатель *Z*, сообщающійся съ рычагами. Части эти расположены слѣдующимъ образомъ. Къ основанію чугуннаго статива *A A* прикрѣплена мѣдная табакерка *B*, заключающая внутри пустоту, которая достигается вытягиваніемъ изъ нея воздуха посредствомъ воздушнаго насоса. На свободную стѣнку табакерки дѣйствуетъ чугунный рычагъ *C*, который опирается объ высокую стѣнку статива *A* посредствомъ двухъ перекладинъ *d* и *d*. Къ той же стѣнкѣ статива прикрѣплена крѣпкая спиральная пружина *E*, которая притягиваетъ соединенный съ нею конецъ длиннаго плеча рычага *C* къ высокой стѣнкѣ статива. Чрезъ что стѣнка табакерки, подверженная давленію воздуха, движется по направленію стрѣлки *x*. Это поднятіе очевидно передается оконечностію длиннаго плеча рычага *C* въ увеличенномъ видѣ; для увеличенія же послѣдняго движенія, оконечность этого плеча соединяется посредствомъ полоски *f* съ короткимъ плечомъ колѣнчатаго рычага *og*, длинное плечо котораго (*g*) соединяется съ осью указателя *Z*, при помощи весьма тонкой цѣпочки *k*, намотанной на небольшой валекъ. Чтобы доставить стрѣлкѣ постоянное движеніе въ одну сторону, по направленію противоположному къ дѣйствію цѣпи, къ оси стрѣлки придѣлана спиральная пружина, прикрѣпленная другимъ концомъ къ перекладинѣ *y*. Дѣленія, указываемыя стрѣлкою, не видны на фигурѣ, потому что они проведены на закрытой отъ насъ поверхности тонкаго мѣднаго круга *L*. Чтобы получить, во сколько разъ стрѣлка увеличиваетъ движенія стѣнки табакерки, очевидно должно перемножить послѣдовательно всѣ отдѣльныя увеличиванія. Въ барометрѣ Эртлинга общее увеличеніе простирается до 150 разъ, такъ что стрѣлка передаетъ измѣненіе, производимое давленіемъ воздуха въ положеніи стѣнки табакерки, въ 150 разъ большемъ видѣ.

Фиг. 561.



Для регулированія инструмента кладутъ его подъ колоколъ насоса вмѣстѣ съ сифоннымъ барометромъ и смотрятъ, чтобы каждое дѣленіе, проходимое стрѣлкою, совпадало съ соотвѣтственнымъ дѣленіемъ, на которомъ останавливается ртуть въ сифонномъ барометрѣ. Самое же регулированіе производится посредствомъ винтовъ *i i*. Если ходъ указателя не совпадаетъ съ движеніемъ ртутнаго барометра, то уравниваютъ ихъ показанія посредствомъ установленія болѣе правильнаго отношенія между длинами короткаго и длиннаго плеча составнаго рычага *og*.

Когда ходы обоихъ барометровъ уравнены, то остается еще привести конецъ стрѣлки къ тому дѣленію, которое соотвѣтствуетъ состоянію барометра:

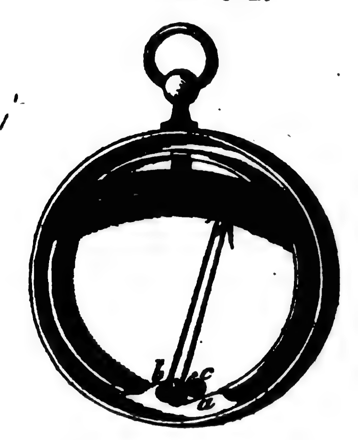
такъ напр., если барометръ показываетъ полное давленіе атмосферы или 28 дюймовъ, то и конецъ стрѣлки должно привести къ дѣленію, соотвѣтствующему этому положенію ртути. Это достигается посредствомъ винта *S*, проходящаго внутри спирали образуемой пружиною.

Остается еще сказать нѣсколько словъ о самомъ уравниваніи хода пружины, которое Эртлингъ достигаетъ эксцентрическою формою валька *q*.

Металлическій барометръ парижскаго механика Бурдона основанъ на слѣдующемъ началѣ: всякое давленіе, производимое на внутреннія упругія стѣнки трубки свернутой въ кругъ, стремится развертывать трубку и наоборотъ, если трубка заключаетъ внутри пустоту и при томъ закупорена герметически, то всякое внѣшнее давленіе на ея стѣнки стремится къ большему свертыванію ихъ.

Фигура 562-я показываетъ барометръ Бурдона. Онъ состоитъ изъ свернутой мѣдной трубки, длиною до 0м 5, съ тонкими упругими стѣнками. Изъ трубки извлекается воздухъ посредствомъ воздушнаго насоса, послѣ чего она герметически закупоривается. При измѣненіи давленія воздуха на наружныя стѣнки трубки, послѣдняя обнаруживаетъ различныя степени свертыванія и слѣдовательно развертыванія. При уменьшеніи давленія воздуха развертываніе трубки передается стрѣлкѣ, двигающейся по масштабу посредствомъ двухъ металлическихъ нитей *b* и *a*, которыя соединяютъ оконечности трубки съ рычагомъ, утвержденнымъ на оси стрѣлки. Если же, наоборотъ, давленіе воздуха увеличивается, то трубка свертывается и въ такомъ случаѣ небольшая спиральная пружина *c* заставляетъ стрѣлку двигаться по масштабу справа налѣво. Барометръ этотъ занимаетъ мало объема, весьма чувствителенъ и отличается простотою своего устройства.

Фиг. 562.

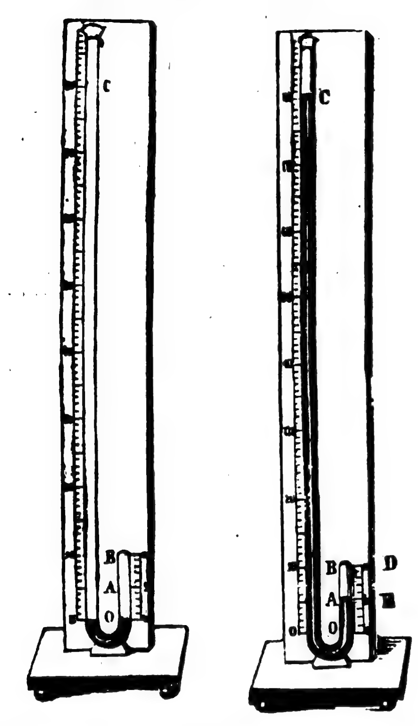


Окончивъ описаніе главнѣйшихъ барометровъ, перейдемъ теперь къ употребленію ихъ. Кромѣ показанія измѣненій въ давленіи, производимомъ атмосферою, барометръ, какъ мы уже видѣли изъ опыта Паскаля, можетъ быть приспособленъ къ опредѣленію высотъ, но объ этомъ опредѣленіи мы будемъ говорить впослѣдствіи, когда ознакомимся съ законами упругости воздуха. Въ общежитіи весьма часто употребляютъ барометръ для показанія погоды. Такое употребленіе барометра имѣетъ слѣдующее основаніе: значительныя измѣненія въ давленіи воздуха сопровождаются большею частію перемѣнами погоды; если давленіе воздуха уменьшается, то обыкновенно слѣдуетъ за этимъ или вѣтеръ или дождь; если же оно увеличивается, то ожидаютъ сухой и постоянной погоды. Согласно съ этимъ на масштабѣ барометра дѣлаются надписи — *ясно, пасмурно, перемѣнно* и т. д., и надписи эти лежатъ противу дѣленій, означающихъ извѣстныя высоты ртути, соотвѣтствующія этимъ состояніямъ погоды. Но эти показанія естественно не всегда согласуются съ дѣйствительностію, потому что давленіе при различныхъ состояніяхъ погоды, равно какъ при различныхъ вѣтрахъ, различной влажности и т. п., имѣетъ различное значеніе. О связи барометрическихъ показаній съ состояніемъ погоды, мы будемъ говорить подробнѣе въ метеорологической статьѣ.

§ 175. Зная какимъ образомъ измѣрять давленіе воздуха, мы постараемся опредѣлить теперь *на сколько именно* будетъ увеличиваться или уменьшаться упругость въ то время, когда мы станемъ измѣнять пространство, занимаемое однимъ и тѣмъ же количествомъ воздуха. Маріотовъ законъ.

Для этого берутъ изогнутую стеклянную трубку, представленную на фиг. 563-й, длинное колѣно которой открыто, между тѣмъ какъ короткое запаяно сверху. — Сперва наливаютъ въ трубку немного ртути, потомъ нагибаютъ осторожно приборъ, для того чтобы изъ короткаго колѣна вышло немного воздуха и выпускаютъ послѣдній до тѣхъ поръ, пока находящаяся въ обоихъ колѣнахъ ртуть, не будетъ стоять на одной высотѣ. Понятно, что въ этомъ случаѣ воздухъ, запертый въ пространствѣ BO будетъ уравновѣшиваться давленіемъ атмосферы на поверхность ртути въ длинномъ колѣнѣ. Если послѣ того влить въ открытое колѣно снова ртути, то очевидно, что давленіе, которое долженъ выносить запертый воздухъ, будетъ увеличено и чрезъ то самое онъ будетъ спертъ въ меньшее пространство. Когда ртуть достигнетъ въ короткомъ колѣнѣ до точки A, (фиг. 564) лежащей посрединѣ, между B и O, то воздухъ будетъ спертъ на половину прежняго своего состоянія. Означивъ буквою n точку длиннаго колѣна, находящуюся на одной высотѣ съ A и измѣривъ надъ n высоту ртутнаго столба до C, который сперъ воздухъ въ короткомъ колѣнѣ на половину прежняго объема, мы увидимъ, что она будетъ въ точности равна высотѣ барометра. Значитъ, воздухъ, заключенный въ BA, будетъ выдерживать вопервыхъ давленіе ртутнаго столба, гидростатическое давленіе котораго соотвѣтствуетъ давленію атмосферы и вовторыхъ давленіе самой атмосферы, которая давитъ на этотъ ртутный столбъ. Слѣдовательно, воздухъ, спертый въ половинное пространство, будетъ собственно выносить давленіе 2-хъ атмосферъ. Когда открытое колѣно этого прибора имѣетъ достаточную длину, то такимъ же образомъ можно доказать, что при давленіи 3, 4 атмосферъ воздухъ, заключенный въ короткомъ колѣнѣ, будетъ спертъ на $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ первоначальнаго своего объема.

Фиг. 563 и 564.



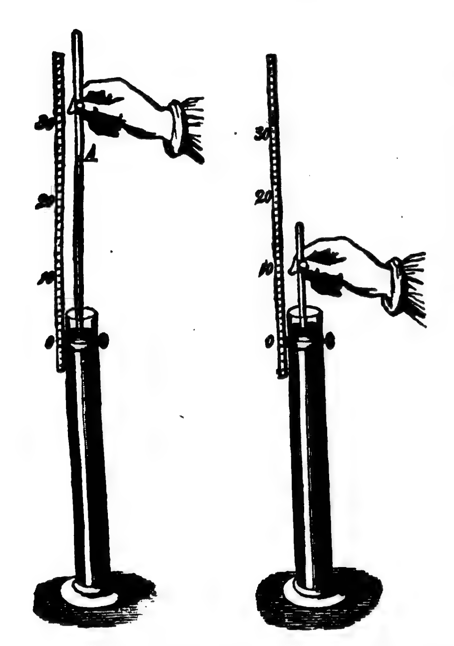
Изъ этого мы видимъ, что отношеніе пространства, занимаемаго газомъ, къ давленію претерпѣваемому имъ не произвольно, но совершается по извѣстному закону, который можетъ быть выраженъ слѣдующими словами: *пространство, занимаемое воздухомъ, обратно пропорціонально давленію производимому на него.*

Заключеніе это обыкновенно представляютъ въ видѣ слѣдующей пропорціи $v : v' = p' : p$ или $\frac{v}{v'} = \frac{p'}{p}$ гдѣ v и p выражаютъ перво-

начальный объемъ и первоначальное давленіе, p' — измѣненное давленіе, а v' — объемъ соотвѣтствующій послѣднему. Законъ этотъ, выведенный почти одновременно англійскимъ ученымъ Бойлемъ и французскимъ аббатомъ Маріотомъ, носитъ названіе *бойлева* или *маріотова закона*, изъ которыхъ послѣднее болѣе употребительно.

Чтобы доказать справедливость маріотова закона при *давленіяхъ менѣе атмосферы*, берутъ двѣ трубки, одну нѣсколько шире, а другую поуже (фиг. 565). Первая изъ нихъ устанавливается отвѣсно въ особомъ штативѣ; верхній конецъ ея оканчивается въ видѣ чашечки, а нижній запаянъ. Трубку эту наполняютъ ртутью до *o*. Послѣ того наливаютъ ртуть въ узкую трубку, точно также, какъ и для полученія торричеліевой пустоты, съ тою только разницею, что въ послѣднемъ случаѣ не доливаютъ трубки ртутью по крайней мѣрѣ отъ 2-хъ до 3-хъ сантиметровъ. Если запереть отверстіе пальцемъ и оборотить трубку, то воздухъ пройдетъ въ верхнюю часть ея. Когда же послѣ того погрузить нижній конецъ въ ртуть широкой трубки и принять палецъ прочь отъ отверстія, то ртутный столбъ въ узкой трубкѣ опустится до извѣстнаго пункта *A*. При этомъ мы увидимъ, что высота ртутнаго столба не будетъ равна вышинѣ барометра, потому что здѣсь въ верхней части трубки находится не безвоздушное пространство, а воздухъ.

Фиг. 565 и 566.



Погружая верхнюю трубку (фиг. 566) все болѣе и болѣе въ ртуть уширенной трубки, мы найдемъ, что объемъ заключеннаго въ ней воздуха будетъ становиться все менѣе и менѣе. Когда же верхняя трубка погрузится на столько книзу, что ртуть ея будетъ находиться на одномъ уровнѣ со ртутью въ широкой трубкѣ, то очевидно, что запертый въ трубкѣ воздухъ будетъ претерпѣвать давленіе цѣлой атмосферы. Измѣривъ высоту запертаго воздуха, подверженнаго давленію атмосферы, мы найдемъ, что она равна 5 сантиметрамъ, которая, дѣйствуя на поверхность ртути въ широкой трубкѣ, передаетъ очевидно свое давленіе и воздуху прикасающемуся къ поверхности ртути.

Чтобы привести воздухъ къ этому сгущенному состоянію, при которомъ увеличивается его упругость, мы заставляли ртуть въ узкой трубкѣ постепенно опадать и для того надавливали самую трубку

рукою книзу. Уничтожимъ теперь причину этого опусканія ртути, т. е. поднимемъ трубку; ясно, что сдавленный воздухъ снова расширится, упругость его уменьшится, а какъ давленіе атмосферы осталось тоже, то ясно, что ртуть должна теперь подниматься въ узкой трубкѣ. Объемъ постоянно расширяющагося воздуха удвоится въ томъ случаѣ, когда высота ртутнаго столба въ узкой трубкѣ надъ уровнемъ ртути въ широкой трубкѣ будетъ равняться половинѣ высоты барометра. Въ этомъ случаѣ запертый воздухъ выноситъ давленіе $^1/_2$ атмосферы, потому что воздухъ и ртуть въ трубочкѣ вмѣстѣ производятъ давленіе равное давленію цѣлой атмосферы. Но какъ здѣсь давленіе ртути равно давленію $^1/_2$ атмосферы, то значитъ, что остальная половина давленія приходится на долю воздуха.

Описанные нами опыты для повѣрки маріотова закона удобны въ томъ отношеніи, что производятся посредствомъ весьма простыхъ приборовъ, которые поэтому употребляются во всѣхъ физическихъ кабинетахъ. Къ этимъ приборамъ весьма часто придѣлываютъ въ той части, гдѣ находится сгущаемый или разрѣживаемый воздухъ, небольшія воронки, сообщающіяся съ трубками посредствомъ отверстій, сдѣланныхъ въ винтѣ, которымъ снабжаются эти воронки; повернувъ винтъ, можно прекратить сообщеніе между воронкой и трубкой. Въ эти воронки кладутъ различныя вещества, посредствомъ которыхъ поглощается влага, заключающаяся въ воздухѣ, для того, чтобы производить наблюденія надъ совершенно сухимъ воздухомъ, т. е. надъ такимъ воздухомъ, на упругость котораго не имѣетъ вліянія упругость водяныхъ паровъ, обыкновенно заключающихся въ воздухѣ.

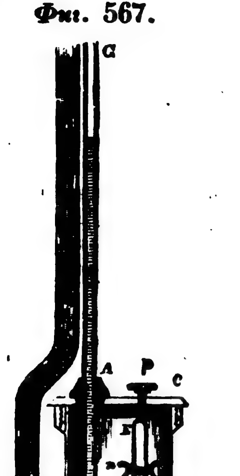
Къ трубкамъ, какъ показываютъ фиг. 565 и 566, придѣлываютъ линейки съ раздѣленными масштабами, которые позволяютъ намъ судить какъ о высотѣ ртути, такъ и объ объемѣ принимаемомъ воздухомъ.

Но эти приборы позволяютъ производить повѣрку закона съ достаточною точностію только при малыхъ давленіяхъ. Весьма затруднительно измѣрять мелкія части короткаго рукава трубки при значительныхъ давленіяхъ. Для выдерживанія сильныхъ давленій трубку пришлось бы дѣлать весьма узкою. При этихъ давленіяхъ средина ртутнаго столба двигалась бы скорѣе противу краевъ, которые задерживались бы треніемъ о стѣнки трубки и происходящія отъ того ошибки очевидно должны быть тѣмъ болѣе, чѣмъ значительнѣе давленіе и уже самая трубка. Законъ же сжимаемости газовъ, подверженныхъ различнымъ давленіямъ при одной и той же температурѣ, весьма важенъ, потому что онъ, какъ мы увидимъ впослѣдствіи, входитъ во всѣ изслѣдованія, производимыя надъ расширеніемъ газовъ отъ теплоты. Важность этого закона заставила ученыхъ повѣрить его для различныхъ давленій со всевозможною тщательностію посредствомъ болѣе усовершенствованныхъ приборовъ, позволявшихъ повѣрять законъ для значительныхъ давленій и необходимость подобной повѣрки увеличилась еще тѣмъ, что нѣкоторые ученые, какъ напримѣръ самъ Бойль, Мушенброкъ, Зульцеръ и Робензонъ замѣтили, что законъ Маріота не можетъ быть приложенъ въ точности къ усиленнымъ давленіямъ и что онъ справедливъ только для малыхъ давленій. Самыя противорѣчія, обнаруживавшіяся между опытами этихъ ученыхъ, заставили первостепенныхъ новѣйшихъ физиковъ снова повѣрить этотъ законъ и какъ вопросъ до настоящаго времени еще нельзя считать окончательно разрѣшеннымъ,

то мы приведемъ здѣсь главнѣйшія изслѣдованія произведенныя надъ нимъ Эрстедомъ, Араго и Дюлонгомъ, Пулье, и наконецъ Реньо, доставившимъ наиболѣе совершенные результаты по этому предмету.

Болѣе точные опыты надъ сгущеніемъ воздуха были произведены впервые въ 1823 году Эрстедомъ вмѣстѣ съ маіоромъ Свензономъ, посредствомъ прибора, въ которомъ устранены недостатки сопряженныя съ описанными нами опытами.

Фиг. 567.



Для этого воздухъ былъ заключенъ въ запаянную сверху трубку, которая была погружена въ плотный стеклянный цилиндръ, заключавшій въ нижней своей части ртуть для воспрепятствованія выходу воздуха и наполненный сверху водою. Если произвести давленіе на поверхность послѣдней, то давленіе это передается ртути, которая въ свою очередь сообщитъ его воздуху, заключенному въ трубкѣ. Какъ при этомъ стеклянная трубка подвержена одинаковому давленію со внѣшней и со внутренней стороны, то это позволяетъ доставлять трубкѣ достаточный діаметръ; сверхъ того при этомъ достигается и другая выгода: отъ сильнаго давленія не измѣняется объемъ трубки. Достаточный діаметръ трубки позволяетъ съ точностію какъ подраздѣлять, такъ и измѣрять объемъ занимаемый воздухомъ. Ближайшія подробности прибора, устроеннаго Эрстедомъ, видны изъ фигуры 567-й. *ABCD* есть цилиндръ изъ плотнаго стекла, обтянутый въ верхней части крѣпкимъ мѣднымъ кольцомъ, на которое навинчивается металлическая крышка, *EF* есть запаянная сверху стеклянная трубка, снабженная точными дѣленіями; посредствомъ желѣзнаго кольца *n* и соединенной съ нимъ желѣзной чашечки *m* она удерживается въ отвѣсномъ положеніи, въ чашечку наливается ртуть для запиранія отверстія трубки.

Цилиндръ же наполняется ртутію такъ, чтобы верхняя поверхность ея *IK* лежала на нѣсколько футъ выше основанія. Трубка *GH* съ помощію прикрѣпленнаго къ ней металлическаго кольца *A* ввинчивается въ соотвѣтственное отверстіе крышки цилиндра. Чрезъ другое отверстіе, запираемое винтомъ *p*, цилиндръ наполняется водою. Наливая ртуть въ трубку *GH*, мы будемъ сдавливать воздухъ, заключенный въ *EF*. Для большихъ давленій трубка *GH* составляется изъ различныхъ частей, изъ которыхъ каждая имѣетъ до 7 футовъ длины. Трубки эти прикрѣпляются другъ къ другу посредствомъ колецъ съ винтами, обхватывающими мѣста соединеній отдѣльныхъ трубокъ.

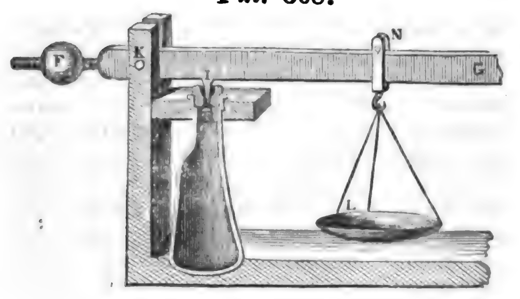
Съ помощію этого прибора воздухъ былъ сдавливаемъ до 8 атмосферъ и были найдены такія незначительныя отклоненія отъ отношеній указываемыхъ закономъ Маріота, что скорѣе ихъ можно было приписать несовершенству прибора и неточности наблюденія, чѣмъ неточности самаго закона.

Впослѣдствіи тѣже самые ученые, желая повѣрить справедливость закона для болѣе сильныхъ давленій, употребляли слѣдующій способъ. Они взяли плотный желѣзный сосудъ, отверстіе котораго запиралось клапаномъ ко внутренней сторонѣ. Сперва былъ опредѣленъ ими внутренній объемъ сосуда. Для этого опредѣлили вѣсъ количества воды, заключавшагося въ сосудѣ, потомъ вѣсъ воздуха, который наполнялъ его при равновѣсіи съ атмосферою.

Послѣ того вгоняли въ сосудъ воздухъ при помощи насоса, который будетъ нами описанъ ниже; плотность этого воздуха находили посредствомъ взвѣшиванія. Сосудъ, употребленный имъ, заключалъ 0,891 граммъ воздуха при давленіи 336,'''9 и при опытахъ воздухъ былъ такъ имъ сдавливаемъ, что вѣсилъ 101,2 грамма, слѣдовательно былъ сгущенъ болѣе чѣмъ во 110 разъ.

Самое же опредѣленіе сдавливающей силы, употребленной при опытахъ, они производили слѣдующимъ образомъ. Къ одноплечному рычагу *FG* (фиг. 568), точка опоры котораго находится въ *K*, придѣлывали остроконечный выступъ *I*, который располагали надъ самымъ клапаномъ сосуда; послѣ того на подвижную чашу *LN* клали гири для того, чтобы заставить выступъ *I* давить на клапанъ до тѣхъ поръ, пока послѣдній не запретъ сосуда.

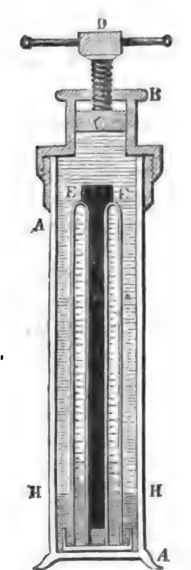
Фиг. 568.



Количество приложенныхъ гирь давало въ этомъ случаѣ величину силы, съ которою былъ сдавленъ воздухъ въ сосудѣ. Хотя эти опыты были далеко отъ совершенной точности, но все таки они были въ пользу справедливости Маріотова закона при большихъ давленіяхъ. Посредствомъ нихъ найдено, что при давленіяхъ до 60 атмосферъ, плотности воздуха пропорціональны давленіямъ.

Для большаго подтвержденія справедливости этого закона Эрстедъ производилъ опыты надъ газами, переходящими при сильномъ давленіи въ жидкое состояніе. Газы эти слѣдовали маріотову закону до тѣхъ поръ, пока сдавливаніе не подходило къ тому предѣлу, при которомъ происходитъ переходъ нхъ въ жидкое состояніе. Опыты по этому предмету были произведены посредствомъ прибора, представленнаго на фиг. 569-й. *AA* есть плотный стеклянный цилиндръ, на который навинчивается металлическая трубка *B* съ поршнемъ *C*, назначеннымъ для произведенія давленія на воду, наполняющую цилиндръ. На дно цилиндра наливается ртуть до *HH*, потомъ вставляютъ въ цилиндръ двѣ стеклянныя трубки, раздѣленныя на части, изъ которыхъ одна наполнена атмосфернымъ воздухомъ, а другая испытуемымъ газомъ, напр. сѣрнистой кислотою. Если производить посредствомъ винта *D* давленіе на воду въ цилиндрѣ, то послѣднее будетъ передаваться газамъ въ *E E* и сжимать ихъ. При этомъ найдено, что сжатіе сѣрнистой кислоты вначалѣ слѣдуетъ за сжатіемъ воздуха, но при извѣстномъ давленіи начинаетъ сжиматься сильнѣе, противу воздуха вскорѣ за увеличеніемъ сжатія слѣдуетъ переходъ въ жидкое состояніе. Подобные опыты были произведены и надъ другими газами, которые дали тѣже слѣдствія.


Фиг. 569.



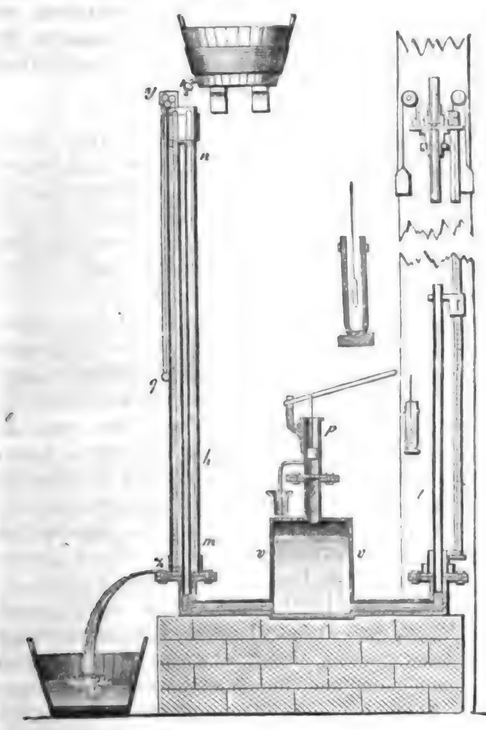
Результаты эти были подтверждены французскимъ физикомъ Депрэ, который доказалъ также, что газы амміакъ, сѣрнистая кислота, синеродъ и сѣрнистоводородный газъ, начиная отъ давленія двухъ атмосферъ, сжимаются гораздо сильнѣе, нежели этого слѣдовало бы ожидать по маріотову закону. При сравненіи же воздуха съ водородомъ найдено было Депрэ, что оба эти газа сжимаются одинаково до давленій простирающихся около 15 атмосферъ, что за этимъ давленіемъ происходитъ различное уменьшеніе объемовъ обоихъ газовъ и что за 20 атмосферами воздухъ сжимается гораздо скорѣе противу водорода.

Но сравненіе сжимаемости газовъ съ сжимаемостію воздуха нисколько неподвинуло впередъ вопроса, удовлетворяетъ ли въ точности сжимаемость воздуха маріотову закону при значительныхъ давленіяхъ. Для разрѣшенія этого вопроса французскіе ученые Араго и Дюлонъ прибѣгли къ слѣдующему способу.

Посрединѣ старой башни въ зданіи college Henri IV была установлена мачта во 100 футовъ высоты. У основанія мачты былъ расположенъ чугунный сосудъ, соединявшійся съ манометромъ и сгустительнымъ насосомъ приборами, значеніе которыхъ мы объяснимъ впослѣдствіи; къ самой мачтѣ была прикрѣплена длинная стеклянная трубка, состоявшая изъ 13 трубокъ, изъ которыхъ каждая имѣла 6 фут. длины.

Употребленный ими приборъ представленъ на фиг. 570. На ней *v* изображаетъ чугунный сосудъ, *p* сгустительный насосъ, *mm* запертый сверху манометръ, *t* вертикальная трубка, открытая сверху.

Фиг. 570.



Положимъ, что чугунный сосудъ наполненъ ртутію, что снабженный дѣленіями манометръ наполненъ сухимъ воздухомъ, и что ртуть въ трубкѣ *mn* и въ вертикальной трубкѣ *t* стоитъ на одной высотѣ. При этомъ ясно, что заключенный въ трубкѣ *mn* воздухъ, котораго объемъ можетъ быть въ точности опредѣленъ, долженъ выдерживать давленіе одной атмосферы. Если съ помощію насоса *p* сдавливать воду въ верхней части сосуда *v*, то чрезъ это будетъ сжиматься сухой воздухъ въ манометрѣ *mn* и ртуть поднимется въ трубкѣ *t*, посредствомъ дѣленій, проведенныхъ на манометрѣ, можно опредѣлить во всякое время объемъ заключающагося въ немъ воздуха. Для опредѣленія же давленія, соотвѣтствующаго объему, принятому воздухомъ, стоитъ только измѣрить различіе уровней ртути въ трубкѣ *t* и въ манометрѣ.

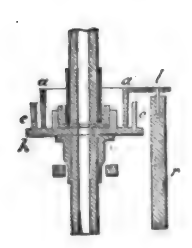
Опыты эти были произведены со всевозможною тщательностію и предусмотрительностію, которою отличаются всѣ наблюденія Араго и Дюлона, обогатившихъ можно сказать каждую отрасль физики различными открытіями. Мы не станемъ здѣсь описывать всѣ остроумныя мѣры предосторожности, употребленныя ими для достиженія точнѣйшихъ результатовъ, а разсмотримъ нѣсколько ближе главнѣйшія части прибора.

Насосъ p былъ такъ устроенъ, что при давленіи 27 атмосферъ онъ могъ сдавливать воду.

Вертикальная трубка была составленна изъ 13 отдѣльныхъ трубокъ плотнаго стекла, изъ которыхъ каждая имѣла въ длину 2 метра и 5 миллиметровъ въ діаметрѣ; толстота стѣнъ простиралась также съ 5 миллиметровъ. Отдѣль-

ныя трубки были связаны крѣпкими кольцами, которыя представлены на фиг. 571 — въ подробности. Оправа верхней трубки лежитъ нижнею сглаженною своею поверхностію на обтянутомъ кожею кружкѣ, который покоится на оправѣ нижней трубки; верхняя оправа можетъ быть прижимаема къ обтянутому кожей кружку посредствомъ винтовъ. Нижняя оправа была снабжена отвѣснымъ выступомъ *c*, чрезъ что вокругъ верхней оправы образуется родъ сосуда, наполняемато веществами, препятствующими къ выходу ртути изъ трубки. Вещества эти наливались въ сосудъ въ расплавленномъ видѣ и тамъ застыли; но передъ наливаніемъ ихъ въ промежуткѣ между выступомъ *c*, и верхнею оправою помѣщается кольцо *aa'*, снабженное указателемъ *l*, который служитъ для означенія извѣстныхъ дѣленій масштаба. Чтобы нижнія трубки не были слишкомъ обременены вѣсомъ верхнихъ трубокъ и чрезъ то не ломались, къ верхнему концу каждой трубки были прикрѣплены снуры, навивающіеся на блокѣ и снабженные на противоположныхъ концахъ гирями одинаковаго вѣса съ трубками.

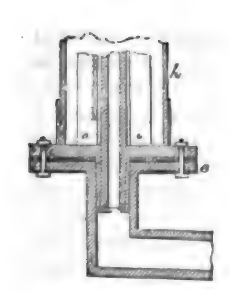
Фиг. 571.



Трубка манометра совершенно подобна вертикальной трубкѣ. Она была раздѣлена тщательно на части равнаго объема, при чемъ предварительно верхній конецъ ея еще незапаянный былъ вытянутъ; дѣленія были проведены на трубкѣ безъ помощи бриллянта, потому что этотъ способъ означенія дѣленій могъ бы вредить прочности трубки. Приготовленная такимъ образомъ трубка прикрѣплялась къ доскѣ чугуннаго сосуда *e*. Послѣ того пропускали чрезъ трубку струи сухаго воздуха и запаивали вытянутый конецъ, не измѣняя замѣтно дѣленія. На фиг. 572 показанъ способъ прикрѣпленія трубки манометра къ доскѣ *e*. Оправа была загнута подъ стѣнками трубки, для того чтобы не происходило никакого давленія на эти стѣнки снизу. Чтобы воздухъ сохранялъ постоянную температуру въ трубкѣ манометра, послѣдняя была окружена трубкой большаго діаметра, чрезъ которую пропускалась вода. Для наблюденія положенія уровня ртути придѣлывался къ трубкѣ манометра подвижной указатель съ ноніусомъ, какъ въ барометрѣ Фортеня, устраивавшаго этотъ приборъ. Какъ указатель находился внутри трубки, наполненной водою, то для передвиженія его придуманъ былъ слѣдующій механизмъ. Указатель прикрѣпленъ къ шолковому снуру, обвивающему два верхніе блока у *y*, отсюда снуръ проходилъ книзу къ блоку *q*, отъ котораго поднимался кверху и проходилъ черезъ нижній блокъ у *y*. Послѣ того снуръ направляли внутрь наружной трубки до блока *z*, откуда направлялся кверху и прикрѣплялся наконецъ свободнымъ своимъ концомъ къ нижней части указателя. Легко понять, какимъ образомъ, дергая за снуръ, можно было поднимать и опускать указатель.



Фиг. 572.

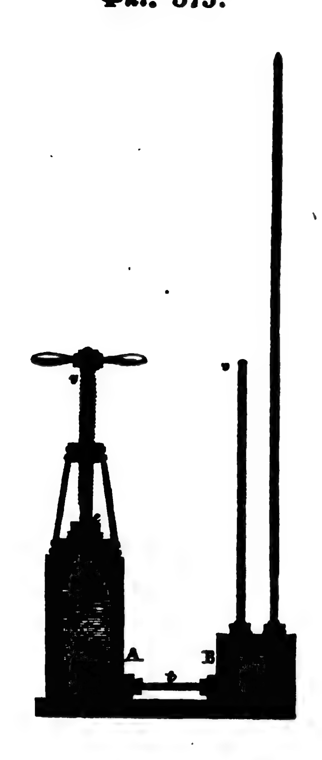


Термометры, расположенные въ различныхъ частяхъ прибора, показывали температуру различныхъ частей его. Одинъ изъ барометровъ опредѣляетъ атмосферное давленіе внизу, другой вверху ртутнаго столба вертикальной трубки. Опыты, произведенные Араго и Дюлономъ съ помощію описаннаго нами прибора, заставили ихъ принять маріотовъ законъ для атмосфернаго воздуха справедливымъ въ точности до давленія 27 атмосферъ.

Касательно же повѣрки маріотова закона надъ другими газами были произведены въ новѣйшее время точные опыты французскимъ физикомъ Пулье.

Съ этою цѣлію онъ употреблялъ приборъ, представленный на фиг. 573. Приборъ этотъ состоитъ изъ двухъ чугунныхъ сосудовъ *A* и *B*, соединенныхъ между собою желѣзною трубкою *t*; въ первый изъ этихъ сосудовъ погружается поршень *a* посредствомъ давленія производимаго на него поворотомъ винта *v*. Въ сосудъ *A* помѣщается ртуть, для воспрепятствованія выходу которой придѣлывается въ верхней части сосуда особый ящикъ; съ тою же цѣлію наливается на ртуть слой масла, которое смачиваетъ стѣнки ящика и позволяетъ дѣлать самый поршень изъ бронзы, потому что тогда ртуть не пристаетъ къ нему. Въ другомъ сосудѣ *B* находятся два вертикальные вырѣза; въ одинъ изъ нихъ вставляется закрытая сверху стеклянная трубка *s*, между тѣмъ какъ въ другое вставляется открытая сверху длинная трубка. Обѣ трубки дѣлаются изъ плотнаго стекла. При началѣ опыта ртуть находится въ обѣихъ трубкахъ на одномъ уровнѣ, при чемъ воздухъ, заключающійся въ закрытой трубкѣ претерпѣваетъ давленіе атмосферы, которое можетъ быть предварительно опредѣлено посредствомъ барометра. Съ поворотомъ винта *v* ртуть поднимается въ обѣихъ трубкахъ, но это поднятіе совершается различно для каждой трубки. Когда объемъ воздуха въ закрытой трубкѣ уменьшится на половину противу первоначальнаго своего состоянія, опредѣляютъ то давленіе, которому подверженъ въ этомъ случаѣ воздухъ: для этого находятъ величину давленія выносимаго въ открытой трубкѣ слоемъ ртути, лежащимъ на одномъ уровнѣ со ртутію въ закрытой трубкѣ. Такимъ образомъ находятъ, что при половинномъ объемѣ запертый воздухъ выноситъ давленіе двухъ атмосферъ, а именно: давленіе атмосферы сверху внизъ и давленіе ртутнаго столба, лежащаго надъ опредѣляемымъ слоемъ ртути въ открытой трубкѣ; высота этого ртутнаго столба равна высотѣ барометра. Продолжая производить давленіе на ртуть, можно привести воздухъ къ трети его первоначальнаго объема: въ этомъ случаѣ мы найдемъ, что давленіе, выносимое имъ, будетъ равно тремъ атмосферамъ и т. д. — Понятно, что дальнѣйшее производство опытовъ зависитъ отъ высоты закрытой трубки.

Фиг. 573.

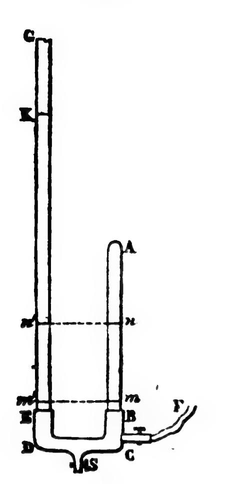


Опыты Пулье подтвердили справедливость маріотова закона для атмосфернаго воздуха до 30 атмосферъ давленія. Посредствомъ подобныхъ опытовъ Пулье нашелъ, что кислородъ, водородъ, азотъ, азотная окись и окись углерода слѣдуютъ до 100 атмосферъ одинаковому закону сжатія съ атмосфернымъ воздухомъ; сѣрнистый газъ, амміакъ, углекислота и азотистая окись сжимаются болѣе противу атмосфернаго воздуха по достиженіи объемами ихъ одной трети или четверти первоначальнаго своего состоянія. Газы же углеродисто-водородный и углеродистый двухводородный обнаруживаютъ гораздо большую сжимаемость противъ атмосфернаго воздуха.

Всѣ эти опыты подтверждаютъ, что атмосферный воздухъ въ точности слѣдуетъ маріотову закону до давленія 30 атмосферъ. Обстоятельство это не согласовалось съ тѣми различіями, которыя найдены были французскимъ физикомъ Реньо во время расширенія атмосфернаго воздуха отъ теплоты при большихъ и при малыхъ давленіяхъ. Это заставило Реньо снова повѣрить точность маріотова закона. Приборъ, устроенный имъ съ этою цѣлію, со-

стоялъ изъ стеклянной трубки *AB* (фиг. 574) около сантиметра въ діаметрѣ и 3-хъ метровъ въ длину. Нижняя часть этой трубки соединяется съ открытою трубкою *EG* длиною отъ 25 до 30 метровъ. Обѣ трубки утверждены неизмѣнно въ отвѣсномъ положеніи. Трубка *AB* запаяна въ верхней части; на ней проведены двѣ постоянныя черты *m* и *n* такимъ образомъ, чтобы объемъ *An* составлялъ половину объема *Am*. Металлическая оправа *BCDE*, соединяющая обѣ стеклянныя трубки, снабжена двумя небольшими трубками съ винтами, изъ которыхъ одна *F* сообщается съ насосомъ, употребляемымъ для сдавливанія воздуха въ трубкѣ *AB*, и другая *S* служитъ, въ случаѣ нужды, для выпусканія ртути изъ двухъ соединяющихся трубокъ *AB* и *EG*. Сперва наполняютъ объемъ *Am* сухимъ воздухомъ при давленіи атмосферы, послѣ того наливаютъ ртуть въ приборѣ для того, чтобы сгустить этотъ воздухъ и привести его въ объемъ *An;* тогда измѣряютъ высоту *n'K* столба ртути, лежащаго надъ уровнемъ *nn'*. Давленіе воздуха, приведеннаго къ половинѣ первоначальнаго своего объема, равно въ этомъ случаѣ высотѣ *n'K* сложенной съ высотою ртути въ барометрѣ; она должна быть вдвое больше первоначальнаго давленія, если законъ Маріота совершенно точенъ. По окончаніи этого опыта снова наполняютъ воздухомъ трубку *AB*, заставляя его принять объемъ *Am* подъ давленіемъ 2 атмосферъ и прибавляютъ новое количество ртути для того, чтобы привести этотъ воздухъ къ объему *An*. Тогда измѣряютъ упругость сгущеннаго такимъ образомъ газа; она должна быть въ этомъ случаѣ равна 4 атмосферамъ, если законъ Маріота точенъ. Точно также наполняютъ воздухомъ объемъ *Am* при давленіи 4 атмосферъ и уменьшаютъ на половину объемъ этого воздуха прибавленіемъ ртути. При этомъ способѣ объемы газовъ, подверженныхъ сильнымъ давленіямъ, достаточно велики для точныхъ измѣреній. Кромѣ того нѣтъ надобности раздѣлять трубку на части равной величины, потому что ртуть поднимается постоянно только до однѣхъ и тѣхъ же чертъ. Выгоды эти достаточно указываютъ на превосходство опытовъ Реньо передъ всѣми другими опытами. Реньо нашелъ такимъ образомъ, что воздухъ сгущается нѣсколько болѣе, нежели показываетъ законъ Маріота; но различіе между сжимаемостію найденною опытомъ и сжимаемостію вычисленною на основаніи закона такъ незначительно, что можно имъ безъ чувствительной погрѣшности пренебрегать при практическихъ примѣненіяхъ. Что же касается до другихъ газовъ, то изъ опытовъ Реньо слѣдуетъ, что азотъ сжимается нѣсколько болѣе того, какъ бы слѣдовало по маріотову закону и что водородъ наоборотъ сжимается нѣсколько менѣе. Углекислота удаляется отъ закона болѣе прочихъ испытанныхъ газовъ; уклоненіе это, начинающееся съ давленія одной атмосферы, такъ значительно, что примѣненіе закона не можетъ быть допущено къ этому газу въ особенности для давленій нѣсколько значительныхъ.

Фиг. 574.



Температура оказываетъ большое вліяніе на упругость газовъ: такъ напр. углекислота наиболѣе удаляющаяся отъ маріотова закона при 0°, показываетъ уже различіе при температурѣ 100°, атмосферный воздухъ при значительныхъ температурахъ тоже представлялъ меньшее уклоненіе нежели при обыкновенной температурѣ. Это подало поводъ къ предположенію, что должна быть такая температура, при которой воздухъ не уклонялся бы отъ маріотова закона. Кромѣ того можно допустить, что за предѣломъ этой температуры сжиманія воздуха начнутъ уже уменьшаться противу отношеній, указываемыхъ маріотовымъ закономъ, и это предположеніе основывается на томъ, что водородъ, уменьшившійся менѣе противу того, какъ бы слѣдовало ожидать по маріотову закону, обнаруживаетъ тѣже обстоятельства въ обратномъ по-

рядкѣ при давленіяхъ, производимыхъ на него во время пониженія температуры.

Таковы заключенія, выведенныя Реньо изъ опытовъ. Основываясь на нихъ, онъ полагаетъ, что законъ Маріота существуетъ для всѣхъ газовъ при извѣстномъ состояніи ихъ сгущенія и при опредѣленной температурѣ. Съ измѣненіемъ температуры, при одной и той же степени сгущенія, сжимаемость газовъ можетъ увеличиваться или уменьшаться. Понятно, что отношенія между сжимаемостію и упругостію должны разстраиваться въ томъ случаѣ, когда отъ усиленнаго давленія или отъ пониженія температуры газы приближаются къ перемѣнѣ своего состоянія скопленія, т. е. когда частицы ихъ изъ газообразнаго вида переходятъ въ жидкій.

§ 176. Обратимся теперь къ ближайшимъ слѣдствіямъ, вытекающимъ изъ маріотова закона, который показываетъ, что *пространства, занимаемыя газами, обратно пропорціональны давленіямъ производимымъ на нихъ.* Слѣдствія изъ маріотова закона.

1) Если при удвоенномъ давленіи газъ займетъ вдвое меньшее пространство, то очевидно, что плотность его увеличится вдвое. Поэтому *плотности газовъ прямо пропорціональны давленіямъ.* А какъ вѣса тѣлъ находятся въ прямомъ отношеніи съ плотностями послѣднихъ, то ясно, что *вѣса одного и того же объема будутъ также прямо пропорціональны давленіямъ, претерпѣваемымъ имъ.*

2) Изъ маріотова закона слѣдуетъ, что для приведенія газа въ половинный объемъ должно увеличить вдвое давленіе. Для существованія равновѣсія въ этомъ случаѣ необходимо, чтобы упругость газа въ состояніи была поддерживать въ равновѣсіи давленіе производимое на него. Значитъ, при вдвое большемъ давленіи упругость газа должна увеличиться вдвое, а какъ при удвоенномъ давленіи пространство, занимаемое газомъ, уменьшается на половину первоначальнаго объема и какъ этотъ объемъ находится въ прямой зависимости съ плотностію, то очевидно, что *плотности газовъ прямо пропорціональны упругости обнаруживаемой ими.*

Изъ сказаннаго нами слѣдуетъ, что для одного и того же количества воздуха при давленіяхъ 1, 2, 3, 4, 5, ... 1000 и т. д.
пространства будутъ . . . 1, $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$, $^1/_5$, ... $^1/_{1000}$ и т. д.
плотности. . . . . 1, 2, 3, 4, 5, ... 1000 и т. д.
упругости . . . . 1, 2, 3, 4, 5, ... 1000 и т. д.

Маріотовъ законъ даетъ намъ средство разрѣшать нѣсколько задачь весьма важныхъ при изслѣдованіи газообразныхъ тѣлъ.

1) Положимъ, что извѣстная масса воздуха занимаетъ объемъ V при давленіи H и положимъ, что требуется опредѣлить объемъ V', соотвѣтствующій новому давленію H' при неизмѣнномъ состояніи температуры. Какъ объемы обратно пропорціональны давленіямъ, то получимъ $\frac{V'}{V} = \frac{H}{H'}$, откуда $V' = \frac{VH}{H'}$. Значитъ, для полученія искомаго объема должно помножить первоначальный объемъ на первоначальное давленіе и раздѣлить полученное произведеніе на новое давленіе.

2) Положимъ, что масса воздуха занимаетъ объемъ V при давленіи H и мы желаемъ знать, какое должно употребить давленіе H' для приведенія его къ



объему V'. Поступая какъ и въ предъидущемъ случаѣ, получимъ $\frac{H'}{H} = \frac{V}{V'}$, откуда $H' = \frac{HV}{V'}$; слѣдовательно искомое давленіе получается отъ умноженія первоначальнаго давленія воздуха на первоначальный объемъ и отъ раздѣленія этого произведенія на новый объемъ.

3) Положимъ, что извѣстный объемъ воздуха имѣетъ вѣсъ P при давленіи H и что требуется найти вѣсъ P' того же объема воздуха при давленіи H'. Вѣса одного и того же объема воздуха прямо пропорціональны давленіямъ, слѣдовательно будетъ $\frac{P'}{P} = \frac{H'}{H}$, откуда $P' = \frac{PH'}{H}$.

Какъ объемы газовъ зависятъ отъ давленія претерпѣваемаго ими, то очевидно, что зная объемъ газа, мы можемъ только тогда имѣть вѣрное понятіе о количествѣ газа, заключающагося въ этомъ объемѣ, когда намъ извѣстно то давленіе, которому подверженъ газъ. Различныя количества газовъ могутъ быть только тогда пропорціональны ихъ объемамъ, когда они претерпѣваютъ одинаковое давленіе. Поэтому, желая сравнить между собою два объема газовъ, подверженныхъ различнымъ давленіямъ, должно опредѣлить величину объема одного изъ газовъ, въ томъ случаѣ, если бы онъ былъ подверженъ одинаковому давленію съ другимъ газомъ. Вообще принято приводить объемы газовъ къ давленію столба ртути высотою въ 30 дюймовъ или 760 миллиметровъ, т. е. вычисляютъ, какъ великъ долженъ быть объемъ газа, найденный при другомъ давленіи, въ томъ случаѣ, если бы онъ былъ подверженъ давленію ртутнаго столба 760 миллиметровъ высоты.

Положимъ, что v есть объемъ извѣстнаго количества газа, подверженнаго давленію b, и что V есть объемъ того же количества газа при давленіи ртутнаго столба въ 760 миллиметровъ высоты. На основаніи маріотова закона мы имѣемъ $\frac{V}{v} = \frac{b}{760}$; слѣдовательно $V = \frac{b}{760}\ v$.

Такъ напр. если извѣстное количество газа при давленіи 500 миллиметровъ имѣетъ объемъ 84 кубическихъ сантиметровъ, то тоже количество газа при давленіи 760 миллиметровъ будетъ имѣть объемъ $V = \frac{500}{760} \cdot 84 = 55{,}2$.

Какъ объемы газовъ зависятъ также отъ температуры, то очевидно, что приводя ихъ къ давленію атмосферы, мы должны обращать вниманіе и на это обстоятельство, вводя въ вычисленія поправки, согласно законамъ расширенія газовъ отъ теплоты. Но объ этихъ поправкахъ мы будемъ говорить въ то время, когда ознакомимся ближе съ законами дѣйствія теплоты.

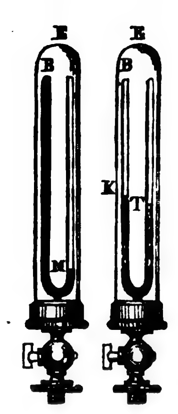
Приборы основанные на маріотовомъ законѣ.

§ 177. Имѣя возможность разрѣшать различные вопросы, относящіеся къ давленію газовъ, намъ остается только имѣть приборы, которые бы позволяли опредѣлять давленіе газовъ. Приборы эти бываютъ двухъ главныхъ родовъ: одни изъ нихъ измѣряютъ давленіе газовъ разрѣженныхъ, другіе же — давленіе газовъ сгущенныхъ.

Къ перваго рода приборамъ относится такъ называемый *укороченный барометръ*.

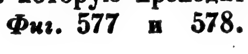
Приборъ этотъ состоитъ изъ изогнутой трубки (фиг. 575 и 576), оба колѣна которой имѣютъ одинаковый діаметръ и одинаковую высоту. Одно колѣно открыто сверху, а другое запаяно; высота обоихъ колѣнъ простирается обыкновенно отъ 20 до 25 сантиметровъ, потому что приборъ назначается для упругости газовъ разрѣженныхъ, т. е. такихъ, которыхъ упругость менѣе атмосферы. Ртуть наливается въ открытое колѣно до тѣхъ поръ, пока она не наполнитъ всей закрытой трубки *B* (фиг. 575) и не остановится въ открытомъ колѣнѣ у точки *M*, лежащей нѣсколько выше загиба образуемаго трубкою. Давленіе атмосферы, поддерживающее столбъ ртути въ 76 сантим., очевидно въ состояніи будетъ удерживать болѣе короткій столбъ *BM*, наполняющій запаянное колѣно. Трубка утверждается на металлической доскѣ и покрывается стекляннымъ колпакомъ, закрытымъ сверху. Съ помощію трубки снабженной винтомъ, сообщаютъ внутреннюю часть колпака съ пространствомъ, въ которомъ разрѣженъ воздухъ или другой газъ. Если упругость послѣднихъ болѣе давленія, оказываемаго ртутнымъ столбомъ *BM*, то ртуть будетъ постоянно наполнять запаянное колѣно трубки; если же упругость эта уменьшится, то ртуть опустится въ закрытомъ колѣнѣ до какой нибудь точки *K* (фиг. 576) и поднимется на столько же въ открытомъ колѣнѣ. Различіе высотъ обоихъ столбовъ ртути выразитъ намъ упругость разрѣженнаго газа. Разницу эту отсчитываютъ на масштабѣ, прикрѣпленномъ къ металлической дощечкѣ, къ которой утверждена трубка. Укороченный барометръ.

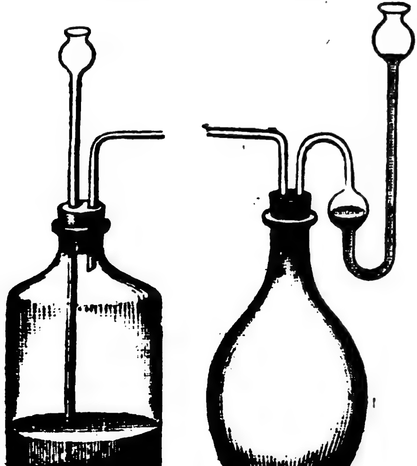
Фиг. 575 и 576.



Приборы, назначаемые для измѣренія сгущенныхъ газовъ, называются *манометрами*.

Манометры бываютъ трехъ видовъ: *манометры съ открытой трубкой*, въ которую проходитъ атмосферный воздухъ въ обыкновенномъ своемъ состояніи; *манометры съ закрытой трубкой*, въ которой сгущается воздухъ, и *манометры металлическіе*.


Фиг. 577 и 578.



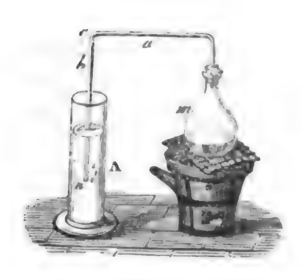
Къ открытымъ манометрамъ относятся *предохранительныя трубки*, представленныя на фиг. 577 и 578, въ двухъ различныхъ видахъ. Чрезъ пробку сосуда, въ которомъ образуется газъ, проходятъ двѣ трубки. Одна изъ нихъ, оканчивающаяся въ верхней части бутылки, служитъ для провода образующагося газа наружу или въ другой сосудъ, а другая, погружающаяся въ жидкость, есть собственно предохрани- Предохранительныя трубки.

тельная трубка. На отверстіе проводной трубки, выходящее наружу, происходитъ два давленія: одно атмосфернаго воздуха снаружи и другое давленіе газа со внутренней стороны трубки. Если послѣднее давленіе превышаетъ первое, то газъ выходитъ изъ трубки. Вслѣдствіе давленія газа внутри сосуда, заключенная въ немъ жидкость поднимается по предохранительной трубкѣ и по высотѣ этой жидкости мы можемъ судить о величинѣ того перевѣса въ давленіи, который обнаруживаетъ надъ окружающимъ воздухомъ газъ, образующійся въ сосудѣ. Точно также величину давленія газа внутри сосуда мы можемъ видѣть изъ различія уровней жидкости въ изогнутой трубкѣ (фиг. 578).

Трубки эти называются *предохранительными* потому, что присутствіе ихъ устраняетъ опасность взрыва, могущаго произойти при значительномъ увеличеніи давленія газа: въ послѣднемъ случаѣ газъ можетъ изгнать всю жидкость изъ трубки и открыть для себя свободный выходъ, не причинивъ вреда сосуду.

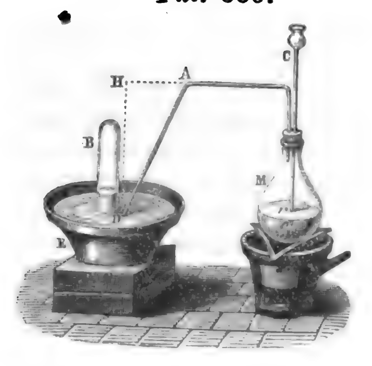
Предохранительныя трубки оказываютъ также услугу при собираніи газа надъ водою, въ приборахъ изображенныхъ на фиг. 580. Весьма часто случается, что упругость газа, образующагося въ сосудѣ, дѣлается менѣе противу давленія воздуха на воду, надъ которой собирается газъ. Положимъ, что какой нибудь газъ отдѣляется изъ праваго сосуда (фиг. 579) и переходитъ въ лѣвый сосудъ посредствомъ трубки, погруженной лѣвымъ концомъ въ воду. Пока отдѣленіе газа совершается равномѣрно, упругость его превышаетъ давленіе атмосферы и вѣсъ того столба воды, который наполняетъ лѣвый конецъ трубки. Но если упругость газа уменьшается или отъ замедленія образованія газа, или отъ охлажденія сосуда, то давленіе атмосферы пріобрѣтаетъ перевѣсъ надъ упругостію газа, и если этотъ перевѣсъ въ состояніи преодолѣть вѣсъ столба воды, наполняющей лѣвый конецъ трубки, то вода проникаетъ въ правый сосудъ и препятствуетъ дальнѣйшему образованію газа. И это обстоятельство можетъ быть устранено предохранительной трубкой.

Фиг. 579.



Когда упругость газа, отдѣляющагося въ *M* (фиг. 580), умножается, то давленіе атмосферы, дѣйствующей на воду сосуда *E*, поднимаетъ ее на извѣстную высоту въ трубку *AD*; но какъ тоже самое давленіе дѣйствуетъ черезъ трубку *Cr* на жидкость, наполняющую нижнюю часть этой трубки, то очевидно, что послѣдняя жидкость будетъ вытѣснена изъ трубки, если только плотность

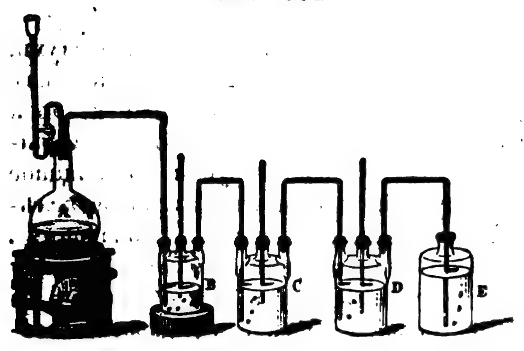
Фиг. 580.



ся мало разнится отъ плотности жидкости лѣваго сосуда. Какъ часть предохранительной трубки, погруженная въ жидкость, менѣе той высоты, на которую давленіе воздуха въ состояніи поднять воду изъ лѣваго сосуда до верхняго изгиба трубки, соединяющей оба сосуда, то воздухъ успѣетъ попасть въ правый сосудъ чрезъ нижнее отверстіе предохранительной трубки, прежде нежели поднимется вода до верхняго изгиба трубки, соединяющей сосуды.

Предохранительныя трубки употребляются также въ приборахъ, назначаемыхъ для насыщенія воды, или другой жидкости, какимъ либо газомъ. На фиг. 581-й представленъ подобный приборъ, извѣстный въ Химіи подъ названіемъ *прибора Вольфа*.

Фиг. 581.



Газъ входитъ въ этотъ приборъ по трубкамъ, соединяющимъ сосуды. Если m, m', m'' и m''' выражаютъ длины трубокъ погруженныхъ въ жидкость, находящуюся въ сосудахъ, то избытокъ давленія газа надъ давленіемъ воздуха въ послѣднемъ сосудѣ будетъ m''', въ третьемъ сосудѣ будетъ $m''+m'''$, во второмъ $m'+m''+m'''$ и наконецъ въ первомъ $m+m'+m''+m'''$. Предохранительная трубка первагo сосуда препятствуетъ, при уменьшеніи упругости газа, прониканію жидкости изъ перваго сосуда во второй, потому что въ этомъ случаѣ жидкость каждаго сосуда не въ состояніи будетъ подняться по газопроводной трубкѣ на высоту большую противу той части предохранительной трубки, которая погружена въ жидкость сосуда.

Фиг. 582.

Собственно такъ называемые *открытые манометры* состоятъ изъ стеклянной трубки *A* (фиг. 582) отъ 4 до 5 метровъ длиною; верхній конецъ ихъ открытъ, а нижній погружается въ желѣзный сосудъ *C*, наполненный ртутью. Какъ сосудъ, такъ и плотно соединенная съ нимъ трубка, прикрѣпляются къ отвѣсной деревянной доскѣ, на которой проведены дѣленія. Другая трубка *B* изъ желѣза, соединяется съ сосудомъ *C* и служитъ для передачи ртути давленія сгущеннаго газа или пара. Манометры.

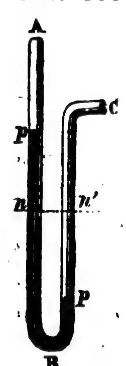
Для проведенія дѣленій на этихъ манометрахъ означаютъ сперва 1, т. е. одну атмосферу у самаго уровня ртути въ сосудѣ *C*; послѣ того на высотѣ 30 дюймовъ или 76 сантиметровъ означаютъ 2, т. е. двѣ атмосферы; точно также означаютъ 3, 4, 5 и т. д. атмосферъ. При этомъ раздѣленіи не должно упускать изъ виду, что по мѣрѣ поднятія ртути въ трубкѣ, уровень ртути въ сосудѣ *C* опускается. Промежутки между числами 1 и 2, 2 и

3 и т. д. раздѣляются на 10 равныхъ частей, соотвѣтствующихъ десятымъ долямъ атмосферы. На фиг. 582-й манометръ означаетъ давленіе 3 атмосферъ, потому что уровень ртути въ трубкѣ поднялся на 2 × 30 дюймовъ выше уровня ртути въ сосудѣ *C*; ясно, что къ этому должно прибавить еще давленіе атмосферы, дѣйствующее на верхнюю часть поднявшагося ртутнаго столба.

Манометры съ открытой трубкой употребляются только для давленій, непревосходящихъ 5 или 6 атмосферъ. Выше этого предѣла приходилось бы давать трубкамъ значительную высоту, при которой онѣ могли бы легко ломаться. Для болѣе значительныхъ давленій прибѣгаютъ къ закрытымъ манометрамъ.

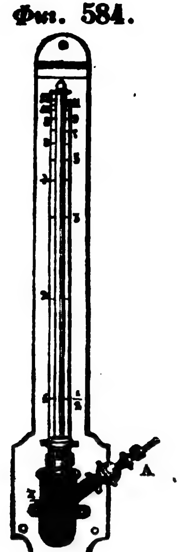
Устройство *закрытаго манометра*, въ которомъ сгущается воздухъ, основано непосредственно на маріотовомъ законѣ. Онъ состоитъ изъ изогнутой трубки *ABC* (фиг. 583), одно колѣно которой открыто, а другое запаяно. Ртуть, налитая чрезъ открытое колѣно, собирается около изгиба трубки. Запаянное колѣно *A* наполняется сухимъ воздухомъ; открытое колѣно C сообщается съ замкнутымъ сосудомъ, заключающимъ газъ или паръ, упругую силу котораго имѣютъ въ виду опредѣлить. Когда оба уровня ртути *n* и *n′* лежатъ на одной и той же горизонтальной плоскости, давленіе воздуха въ манометрѣ равно давленію атмосферы. Но если увеличивается давленіе газа, заключеннаго въ сосудѣ, сообщающемся съ трубкою C, то уровень *n′* опускается, а уровень *n* поднимается, сжимая сухой воздухъ, заключенный въ запаянномъ колѣнѣ *A*. Давленіе въ этомъ случаѣ измѣряется уменьшеніемъ объема воздуха въ манометрѣ и различіемъ обоихъ уровней ртути. Такимъ образомъ давленіе, означенное манометромъ, представленнымъ на фиг. 583-й, въ которомъ воздухъ, заключающійся въ колѣнѣ *A*, сжатъ на половину, равно 2 атмосферамъ, вмѣстѣ съ высотою ртутнаго столба, между уровнями *p* и *p′*. Легко понять, какимъ образомъ предварительно должно раздѣлить трубку *A*, такъ чтобы можно было опредѣлять съ точностію положеніе уровня *p* для 3, 4, 5, 6 атмосферъ и т. д. Для этого должно вычислить высоту уровня такимъ образомъ, чтобы упругая сила сжатаго воздуха вмѣстѣ съ вѣсомъ столба ртути, взятаго между двумя уровнями, означала согласно маріотову закону означенныя давленія.

Фиг. 583.



Точно также весьма часто употребляется манометръ представленный, на фигурѣ 584-й. Стеклянная, закрытая сверху, трубка погружается въ желѣзный сосудъ со ртутью, который посредствомъ боковой желѣзной трубки *A* сообщается съ сосудомъ, заключающимъ какой нибудь газъ.

Дѣленія этого манометра проводятся слѣдующимъ образомъ: количество воздуха, заключенное въ трубкѣ, таково, что если отверстіе *A* сообщается съ атмосферою, то уровень ртути стоитъ на одной высотѣ въ трубкѣ и въ желѣзномъ сосудѣ. Поэтому, противу этого уровня означаютъ 1 на дощечкѣ, къ которой прикрѣплена манометрическая трубка.

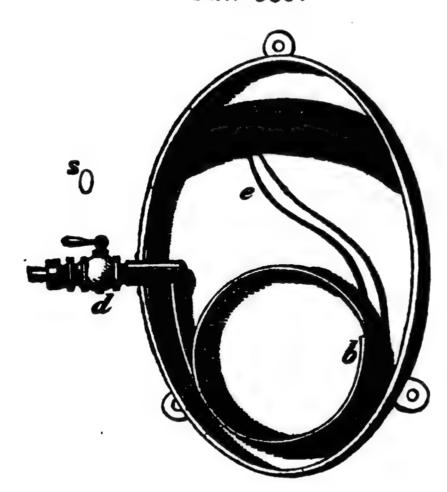

Фиг. 584.

Для продолженія дѣленій должно замѣтить, что по мѣрѣ увеличенія давленія, передающагося чрезъ отверстіе A, ртуть поднимается въ трубкѣ до тѣхъ поръ, пока ея вѣсъ вмѣстѣ съ давленіемъ сжатаго воздуха, не будетъ уравновѣшивать внѣшняго давленія. Изъ этого слѣдуетъ, что ошибочно было бы означить 2 атмосферы посрединѣ трубки, начиная отъ 1, потому что, если объемъ воздуха, заключающагося въ трубкѣ, уменьшенъ на половину, то упругость его по маріотову закону равна 2 атмосферамъ; слѣдовательно, увеличенная вѣсомъ ртутнаго столба, поднявшагося въ трубкѣ, она представитъ давленіе больше противу двухъ атмосферъ. Поэтому не посрединѣ трубки должно означить 2, но нѣсколько ниже, на той высотѣ, на которой упругая сила сжатаго воздуха, вмѣстѣ съ вѣсомъ ртутнаго столба, заключающагося въ трубкѣ, равна двумъ атмосферамъ. Точное размѣщеніе чиселъ 2, 3, 4, . . . на скалѣ манометра можетъ быть произведено только съ помощію вычисленій.

Изъ сдѣланнаго нами объясненія понятно, что сущность устройства этого манометра одинакова съ предъидущимъ.

Здѣсь должно замѣтить, что приборъ, представленный на фигурѣ 584-й, не даетъ точныхъ результатовъ для сильныхъ давленій, потому что при этихъ давленіяхъ объемы воздуха постоянно уменьшаются и дѣленія почти прикасаются между собою.

Перейдемъ теперь къ *металлическому манометру*, устроенному Бурдономъ. Основанія этого манометра одинаковы съ началами, которыя служили поводомъ къ устройству описаннаго нами металлическаго барометра того же самаго механика. Мы уже говорили, что всякое давленіе, произведенное на внутреннія упругія стѣнки свернутой въ кругъ трубки, стремится развертывать послѣднюю.

Фиг. 585.


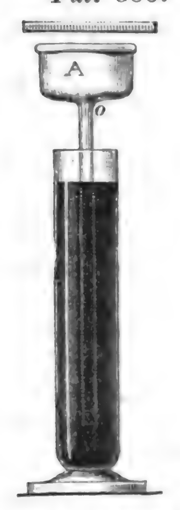
Манометръ Бурдона состоитъ изъ мѣдной трубки *b* (фиг. 585) около 70 сантиметровъ въ длину; стѣнки этой трубки тонки и упруги. Трубка свертывается спиралью и помѣщается въ эллипсоидальной оправѣ. Открытая оконечность трубки сообщается у *a* съ толстою трубкою *d*, снабженною краномъ. Послѣдняя трубка соединяется съ сосудомъ, въ которомъ заключается газъ, упругость котораго желаютъ опредѣлить. Другая оконечность свернутой трубки, закрытая у *b*, совершенно свободна, какъ и остальная часть трубки, заключающаяся между *a* и *b*; къ концу трубки у *b* придѣлана стрѣлка *e*, назначенная для означенія на масштабѣ опредѣляемой упругости газа или пара. Упругость эта, какъ и въ предъидущихъ приборахъ, выражается въ атмосферахъ. Для раздѣленія масштаба подвергаютъ приборъ дѣйствію сгущеннаго воздуха и потомъ послѣдовательно означаютъ положенія, принимаемыя стрѣлкою для 1, 2, 3, 4, 5, . . . атмосферъ, измѣренныхъ открытымъ манометромъ. Манометръ Бурдона употребляется преимущественно для опредѣленія упругой силы пара въ локомотивахъ.

2. Кромѣ манометровъ на маріотовѣ законѣ основано устройство приборовъ, служащихъ для опредѣленія объема порошкообразныхъ тѣлъ и называемыхъ

стереометрами или *объемометрами*. Французскій физикъ *Сей* первый сдѣлалъ это остроумное примѣненіе закона Маріота; впослѣдствіи были предложены Лесли, Копомъ и Реньо различные приборы, основанные на томъ же началѣ.

Приборъ Сая, называемый стереометромъ, имѣетъ слѣдующее устройство.

Фиг. 586.



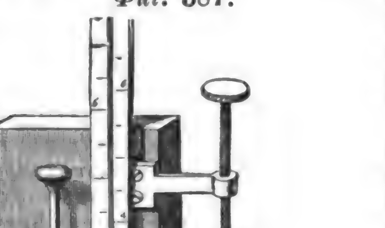
Къ стеклянному сосуду *A* (фиг. 586) прикрѣпляется по возможности цилиндрическая стеклянная трубка. Верхніе края сосуда отшлифованы такъ, какъ матовое стекло, для того чтобы можно было, съ помощію стеклянной пластинки, плотно запирать внутреннее пространство трубки. Трубка снабжена по длинѣ своей дѣленіями, при чемъ съ точностію должно быть опредѣлено, какой объемъ трубки соотвѣтствуетъ пространству между двумя штрихами.

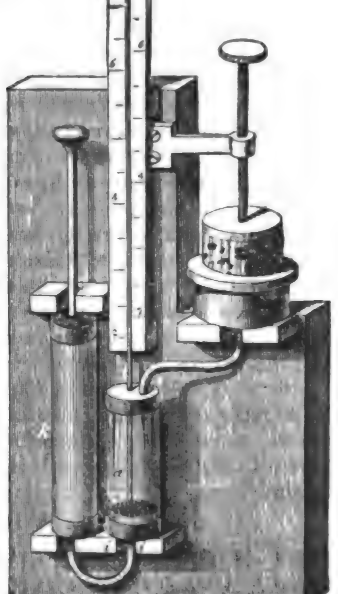
Передъ закрытіемъ сосуда *A* трубка погружается въ цилиндръ наполненный ртутью, такъ чтобы 0 дѣленій соотвѣтствовалъ уровню ртути. Если же края сосуда плотно закрыты пластинкою, то въ немъ будетъ находиться опредѣленный объемъ воздуха V, плотность котораго положимъ соотвѣтствуетъ состоянію барометра *H*.

Но если при закрытомъ состояніи сосуда *A* поднять весь приборъ въ высоту, то часть воздуха переходитъ изъ *A* въ трубку, между тѣмъ какъ ртуть, входящая чрезъ нижнее отверстіе трубки, поднимается въ ней выше наружнаго уровня. Если v означаетъ отсчитанное на дѣленіяхъ трубки приращеніе объема воздуха, а h — высоту поднявшагося ртутнаго столба, то мы будемъ имѣть на основаніи маріотова закона: $\frac{V+v}{V}=\frac{H}{H-h}$ . . . . (1), откуда легко вычислить V, если извѣстны H, h и v.

Повторяя тотъ же опытъ надъ тѣломъ, котораго объемъ x мы желаемъ опредѣлить, кладутъ тѣло въ сосудъ *A*; если приборъ погружается въ ртуть до нуля, то объемъ воздуха, запертаго въ *A*, будетъ равенъ $V-x$. Поднимая трубку до тѣхъ поръ, пока объемъ спертаго воздуха не прибавится на v, будемъ имѣть $\frac{V-x+v}{V-x}=\frac{H}{H-h'}$ . . . . (2), если h' будетъ въ этомъ случаѣ выражать соотвѣтственное поднятіе ртутнаго столба въ трубкѣ. Изъ 2-го уравненія можно вычислить x, потому что V уже опредѣлено посредствомъ 1-го уравненія.

Фиг. 587.





Волюмометръ *Копа* (фиг. 587) состоитъ изъ двухъ сообщающихся между собою цилиндрическихъ сосудовъ k и i (буква i прорѣзана въ штрихахъ фигуры близъ самой крышки означаемой ею части прибора). Оба эти сосуда наполнены ртутью. Изъ сосуда i идетъ загнутая трубка къ широкому стеклянному цилиндру r; трубка эта плотно входитъ въ отверстія сосудовъ i и r. Верхніе края цилиндра r должны быть тщательно отшлифованы, такъ чтобы при помощи незначительнаго смазыванія краевъ саломъ, можно бы было запирать плотно сверху сосудъ стеклянной дощечкой n.

Доска эта прикрѣпляется къ краямъ цилиндра посредствомъ винта; давленіе этого винта происходитъ при помощи пробки, лежащей между винтомъ и пластинкою.

Когда стеклянная дощечка *n* плотно запираетъ верхнее отверстіе цилиндра, то въ этомъ случаѣ *r* есть ни что иное какъ расширеніе *i*. Если производить давленіе поршнемъ въ *k* до тѣхъ поръ, пока нижній конецъ *c* восходящей трубки не прикоснется къ ртути, то въ *i* и въ *r* будетъ заключено извѣстное количество воздуха, если производить дальнѣйше давленіе на ртуть такъ, чтобы она поднялась до оконечности проволоки *a*, то этотъ воздухъ, начнетъ сжиматься и согласно своему сжатію будетъ поднимать соотвѣтственный столбъ ртути въ восходящей трубкѣ.

Но если прежде закрытія верхнихъ краевъ сосуда *v* мы положимъ въ него порошкообразное тѣло и повторимъ описанное нами сжатіе ртути, то при уровнѣ послѣдней у *c* будетъ уже сжато меньшее количество воздуха противу предшествовавшаго случая, и если ртуть будетъ поднята до *a*, то это меньшее количество воздуха будетъ сжато на туже самую абсолютную величину, имѣнно въ пространствѣ между *c* и *a*. Слѣдовательно запертый воздухъ будетъ сжатъ теперь сильнѣе нежели въ прежнемъ опытѣ и поэтому ртуть должна подниматься въ восходящей трубкѣ выше противу прежняго.

Какъ высота ртутнаго столба, поднятаго въ восходящей трубкѣ, зависитъ отъ объема тѣла, находящагося въ цилиндрѣ *r*, то по высотѣ поднятаго ртутнаго столба мы можемъ опредѣлять объемъ этого тѣла, если при этомъ взять въ разсчетъ всѣ обстоятельства, имѣющія вліяніе на это опредѣленіе.

Порошкообразныя или жидкія тѣла, помѣщаемыя въ цилиндръ *r*, должны заключаться въ какомъ нибудь другомъ сосудѣ, который бы можно было вносить и вынимать изъ *r*. Для этого выбираютъ предпочтительно сосудъ изъ платины или другаго какого нибудь неокисляющагося металла, который долженъ имѣть форму приблизительно подходящую къ цилиндру *r*. Чтобы не вводить объемъ этого сосуда въ вычисленіе, смотрятъ на него какъ на составную часть прибора.

Для удобнѣйшаго опредѣленія объема тѣла, внесеннаго въ цилиндръ *r*, должно знать объемъ запертаго воздуха въ томъ случаѣ, когда ртуть находится у *c*, а въ цилиндръ *r* помѣщенъ платиновый сосудъ; положимъ, что этотъ объемъ напр. равенъ 15,07 кубическимъ сантиметрамъ. Послѣ того должно знать величину объема между *c* и *a*, на который сжимается воздухъ; положимъ онъ равенъ 2,5 кубическимъ сантиметрамъ.

Желая опредѣлить объемъ какого нибудь тѣла, кладутъ его въ платиновый сосудъ и вносятъ въ цилиндръ *r*, послѣ чего надавливаютъ поршень книзу. Въ тотъ моментъ, когда отверстіе *c* закроется ртутію, положимъ, что будетъ сжато количество воздуха x; при дальнѣйшемъ сдавливаніи, когда поверхность ртути подойдетъ къ *a*, объемъ x превратится очевидно въ $x - 2{,}5$ куб. сант. Положимъ, что соотвѣтствующая этому сжатію высота ртути въ восходящей трубкѣ равна 90 линіямъ, при высотѣ барометра въ 336‴; ясно, что въ этомъ случаѣ сжатый воздухъ подверженъ давленію $336 + 90 = 426'''$. Слѣдовательно, сжатіе его можетъ быть опредѣлено отношеніемъ 426 къ 336; основываясь на этомъ, мы получимъ пропорцію $426 : 336 = x : x - 2{,}5$, откуда $x = 11{,}72$.

Но мы знаемъ, что когда платиновый сосудъ былъ пустъ и когда поверхность ртути находилась у *c*, сжатый воздухъ имѣлъ 15,07 куб. сант; слѣдственно искомый объемъ тѣла равенъ $15{,}07 - 11{,}72$, т. е. 3,35 куб. сант.

Положимъ, что высота барометра равна B, наблюденная высота ртути въ восходящей трубкѣ равна h, объемъ между a и c равенъ v. Вставимъ эти общія величины вмѣсто соотвѣтственныхъ чиселъ выведенной нами пропорціи, получимъ $B + h : B = x : x - v$.... (1), откуда легко опредѣлить x. Найдя же послѣднюю величину, легко вычислить объемъ R искомаго тѣла, потому что мы можемъ составить уравненіе $R = V - x$.... (2), въ которомъ V означаетъ объемъ запертаго воздуха, въ томъ случаѣ, когда въ *r* находится пустой платиновый сосудъ и когда ртуть запираетъ отверстіе *c*. Объемъ этотъ для взятаго нами частнаго случая былъ равенъ 15,07.

Величины V и v для одного и того же прибора постоянны, но естественно, что онѣ измѣняются для всякаго прибора и потому ихъ должно опредѣлять съ точностію въ каждомъ волюмометрѣ.

Для опредѣленія постоянныхъ величинъ V и v поступаютъ слѣдующимъ образомъ. Сначала вставляютъ пустой платиновый сосудъ, доводятъ ртуть до a, замѣчаютъ высоту ртутнаго столба въ восходящей трубкѣ. Положимъ, что она простирается до 65,5''', при высотѣ барометра равной 336'''; при этихъ величинахъ очевидно мы будемъ имѣть $v : V = 65{,}5 : 401{,}5$. Потомъ наливаютъ въ платиновый сосудъ извѣстное количество воды, напр. 4 грамма, занимающіе ровно 4 куб. сантим., и повторяютъ тотъ же опытъ. Понятно, что въ настоящемъ случаѣ ртуть поднимется выше въ восходящей трубкѣ; если она примѣрно равна 95,5''', то будемъ имѣть $v : V - 4 = 95{,}5 : 401{,}5$; изъ обѣихъ пропорцій легко уже получить v и V. Произведя вычисленіе, найдемъ для v и V точно такія величины, которыя были получены для нихъ изъ предъидущихъ вычисленій.

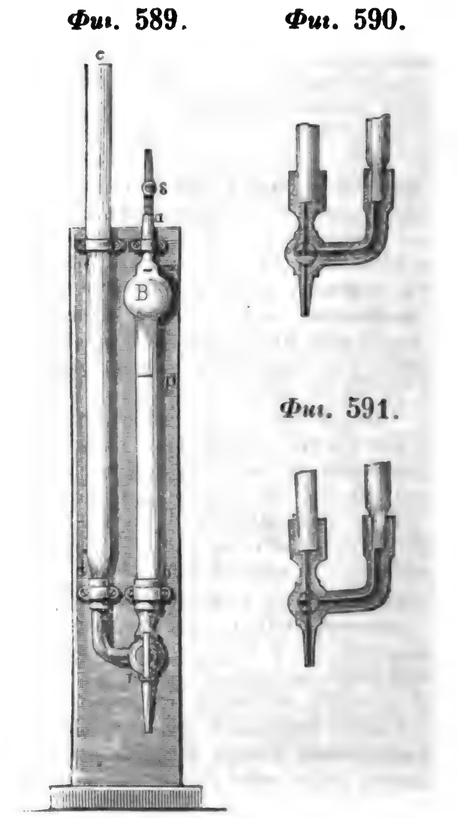
Вторая оконечность проволоки b служитъ для повѣрительныхъ опытовъ. Восходящая трубка сопровождается двумя скалами; нулевая точка одной лежитъ противу a, а другой противу b. Самая трубка должна имѣть около 16 дюймовъ высоты.

Понятно, что этотъ приборъ не можетъ быть употребленъ для тѣлъ, поглощающихъ при возвышенномъ давленіи значительное количество воздуха, какъ напр. уголь.

Если опредѣленъ, съ помощію волюмометра, объемъ какого нибудь тѣла, котораго относительный вѣсъ найденъ посредствомъ вѣсовъ, то легко уже вычислить его удѣльный вѣсъ.

Въ настоящее время въ большомъ употребленіи во Франціи *волюмометръ Реньо*, представленный на фигурахъ 588 и 589.

Фиг. 588. *Фиг.* 589. *Фиг.* 590.



Фиг. 591.

A есть стеклянный шаръ около 300 кубическихъ сантиметровъ вмѣстимости. Къ шейкѣ его придѣлана металлическая дощечка, которая позволяетъ плотно прикрѣплять къ манометрическому прибору шаръ, при помощи четырехъ винтовъ и небольшой кожаной пластинки, смазанной саломъ.

Отъ *A* идетъ кверху трубка, которая можетъ быть запираема краномъ *s*; другая горизонтальная трубка соединяетъ шаръ съ отвѣсной трубкой *ab*, имѣющей до 14 миллиметровъ длины и образующей близь верхняго своего конца шаръ *B*. На послѣдней трубкѣ проведены двѣ марки: одна у *m*, а другая у *p*; нижняя часть трубки снабжена желѣзной оправой, въ которой находится кранъ *r*; посредствомъ этого крана трубка *ab* можетъ по произволу или отворяться книзу, или приводиться въ сообщеніе съ трубкою *cd*, какъ это явственнѣе можно видѣть изъ фиг. 590 и 591.

Объемъ *v* трубки *ab* между *m* и *p* опредѣляется слѣдующимъ образомъ: отворивъ кранъ *s*, вливаютъ въ трубку *cd* ртуть до тѣхъ поръ, пока послѣдняя не дойдетъ до *m*; послѣ того отворяютъ кранъ *r* и выпускаютъ ртуть, пока она не остановится у точки *p*. Тогда измѣряютъ выпущенное количество ртути.

Подобнымъ же образомъ опредѣляется объемъ V шара *A* и соединительной трубки между *A* и *m*; стоитъ только измѣрить для этого объемы ртути, наполнявшіе эти пространства.

Если V и *v* и кромѣ того различіе высотъ *h* между *m* и *p* опредѣлены разъ на всегда, то легко уже съ помощію этого прибора находить объемы тѣлъ приведенныхъ въ порошокъ.

Для этого взвѣшиваютъ шаръ *A*, сперва пустой, а потомъ до половины наполненный опредѣляемымъ тѣломъ, и находятъ такимъ образомъ вѣсъ послѣдняго. Послѣ этого взвѣшиванія привинчиваютъ *A*, отворяютъ кранъ *s* и наливаютъ ртути въ трубку *ab* до *m*; послѣ того запираютъ кранъ *s*.

Запертый воздухъ имѣетъ теперь объемъ $V-x$, въ томъ случаѣ, если x означаетъ объемъ опредѣляемаго тѣла; онъ находится подъ давленіемъ атмосферы, которое мы назовемъ чрезъ *H*

Послѣ того запираютъ кранъ *s* и выпускаютъ ртуть чрезъ *r* до тѣхъ поръ, пока она не опустится до черты *p*. Въ такомъ случаѣ мы получимъ спертый воздухъ, котораго объемъ будетъ $V-x+v$; воздухъ этотъ будетъ находиться подъ давленіемъ $H-h$. Вслѣдствіе того мы получимъ $\frac{V-x+v}{V-x}=\frac{H}{H-h}$, откуда $x=V-\frac{v(H-h)}{h}$.

§ 178. Изъ самой теоріи барометра слѣдуетъ, что по мѣрѣ поднятія барометра должна уменьшаться высота ртутнаго столба. При этомъ невольно рождается вопросъ, нельзя ли по уменьшенію ртутнаго столба судить о высотѣ мѣста надъ уровнемъ моря? Если бы атмосфера повсюду имѣла одинаковую плотность, то вопросъ могъ бы быть разрѣшенъ весьма просто. Въ такомъ случаѣ давленіе атмосферы на ртуть, а слѣдовательно и высота барометрическаго столба, уменьшалась бы постепенно, по мѣрѣ возвышенія нашего чрезъ равные слои атмосферы. Если бы напримѣръ найдено было, что на берегу моря слой воздуха, толщиною въ 100 футовъ, равенъ по вѣсу одной линіи ртути, то барометръ долженъ бы всегда понижаться на одну линію при поднятіи на каждые 100 фут. Поэтому для 200 фут. барометрическій столбъ понизился бы на 2 линіи, для 300 — на 3 линіи и т. д. Слѣдовательно, если бы воздухъ былъ на всѣхъ высотахъ одинаковой плотности, то для опредѣленія высоты какой нибудь горы достаточно было бы замѣтить высоту барометра сначала

Измѣреніе высотъ посредствомъ барометра.

при поверхности моря, а потомъ на вершинѣ измѣряемой горы и въ разности между этими высотами каждую линію принять за 100 футовъ.

Но этотъ способъ не можетъ имѣть приложенія въ практикѣ, потому что основывается на совершенно ложномъ предположеніи, что атмосфера имѣетъ во всѣхъ своихъ слояхъ одинаковую плотность. Мы уже видѣли, что плотность атмосферы не только не одинакова вездѣ, но напротивъ, по мѣрѣ удаленія отъ земли значительно уменьшается. Предположимъ напримѣръ, что съ поднятіемъ на 100 футовъ барометръ опускается на одну линію, значитъ пройденный слой атмосферы оказываетъ давленіе равное давленію одной линіи ртути. При поднятіи опять на 100 футовъ ртуть опустится менѣе, чѣмъ на одну линію, потому что этотъ второй слой атмосферы, находясь выше и слѣдовательно будучи менѣе плотенъ, имѣетъ и вѣсъ меньше, а потому и давленіе имъ оказываемое будетъ меньше давленія перваго слоя. Такимъ же образомъ при повышеніи еще на 100 футовъ, вѣсъ пройденнаго слоя будетъ меньше вѣса втораго слоя и барометръ понизится еще на меньшую величину, и т. д.

Изъ предъидущаго слѣдуетъ, что для вывода разности въ высотѣ двухъ слоевъ атмосферы, посредствомъ измѣненій въ высотѣ барометрическаго столба, необходимо знать отношеніе существующее между плотностями этихъ слоевъ и ихъ взаимную высоту, т. е. должно произвести этотъ выводъ на основаніи маріотова закона.

Для изслѣдованія, въ какомъ отношеніи уменьшается плотность атмосферы, по мѣрѣ постепеннаго возвышенія отъ уровня моря, прибѣгаютъ къ помощи маріотова закона. Чтобы упростить полученіе вывода допустимъ, что атмосфера находится въ совершенномъ покоѣ и имѣетъ повсюду одинаковую температуру.

Представимъ себѣ, что атмосфера раздѣлена на безчисленное множество тонкихъ слоевъ, параллельныхъ къ земной поверхности. Понятно, что каждый вышележащій слой долженъ имѣть меньшую плотность противу слоя непосредственно подъ нимъ лежащаго, и поэтому, возвышаясь постепенно отъ поверхности земли, мы должны будемъ наконецъ достигнуть до слоя, котораго плотность такъ незначительна, что вѣсъ его можетъ быть принятъ равнымъ нулю. Значитъ, барометръ, находящійся въ этомъ слоѣ, будетъ показывать нуль.

Опускаясь съ барометромъ по отвѣсной линіи книзу, положимъ, что непосредственно нижележащій слой A (фиг. 592) въ состояніи удерживать въ равновѣсіи своею тяжестію столбъ ртути, котораго высота равна a линіямъ. Положимъ, что вслѣдствіе вѣса слоя A, лежащій подъ нимъ слой B пріобрѣтаетъ въ n разъ большую противу него плотность, т. е. что B въ n разъ тяжелѣе A. На этомъ основаніи ясно, что слой B самъ по себѣ въ состояніи держать въ равновѣсіи ртутный столбъ въ na линій. Но какъ барометръ, находящійся въ B, кромѣ давленія послѣдняго слоя выноситъ также давленіе и слоя A, то очевидно, что высота его будетъ равна $a + na$ или $(1+n)a$ линіямъ.

Фиг. 592.

A
B
C
D
E
F

Точно также третій слой C вслѣдствіе вѣса лежащихъ надъ нимъ слоевъ, въ состояніи поддерживать въ равновѣсіи ртутный столбъ въ $(1+n)a$ линій. Мы уже видѣли, что отъ давленія, соотвѣтствующаго a линіямъ, слой B сдѣлался такъ плотенъ, что вѣсъ его былъ доста-

точекъ для поддержанія въ равновѣсіи ртутнаго столба въ na линій высотою. Но какъ слой C претерпѣваетъ въ $(1+n)$ разъ большее давленіе противу B, то очевидно, что C долженъ быть въ $(1+n)$ разъ плотнѣе противу послѣдняго. Слѣдовательно, уже своимъ собственнымъ вѣсомъ, слой этотъ въ состояніи поддерживать въ равновѣсіи ртутный столбъ въ $(1+n)$ разъ болѣе противу B, т. е. ртутный столбъ высотою въ $(1+n)na$ линій. А какъ этотъ слой выдерживаетъ давленіе вѣса слоевъ A и B, равное ртутному столбу въ $(1+n)a$ линій, то отъ вѣса всѣхъ трехъ слоевъ A, B и C, высота ртутнаго столба будетъ равна $(1+n)a+(1+n)na$, т. е. $(1+n)^2 . a$ линіямъ, и поэтому въ C барометръ будетъ показывать $(1+n)^2 . a$ линій.

Разсуждая такимъ образомъ, не трудно доказать, что въ слоѣ D высота барометра будетъ равна $(1+n)^3a$, въ слоѣ E она будетъ $(1+n)^4a$, и т. д.

Однимъ словомъ, мы получимъ плотности отдѣльныхъ слоевъ атмосферы и соотвѣтственныя имъ высоты барометра въ слѣдующемъ порядкѣ.

Слои воздуха.	Плотность слоевъ воздуха, выраженная высотою ртутнаго столба поддерживаемаго имъ въ равновѣсіи.	Высоты барометровъ въ отдѣльныхъ слояхъ воздуха.
A	a	
B	an	a
C	$(1+n)na$	$(1+n)a$
D	$(1+n)^2na$	$(1+n)^2a$
E	$(1+n)^3na$	$(1+n)^3a$
F	$(1+n)^4na$	$(1+n)^4a$
G	$(1+n)^5na$	$(1+n)^5a$

Таблица эта показываетъ, что плотности слоевъ воздуха, равно какъ и соотвѣтственныя имъ высоты барометра, образуютъ геометрическій рядъ членовъ. А какъ во всякомъ геометрическомъ ряду члены, одинаково отстоящіе другъ отъ друга, какъ напр. 1, 4, 7, 10 и т. д., или 1, 6, 11 и т д., образуютъ также геометрическій рядъ, то мы имѣемъ право вывести заключеніе, что *для высотъ последовательныхъ слоевъ атмосферы, увеличивающихся въ ариѳметической прогрессіи, плотности воздуха и состоянія барометра уменьшаются въ геометрической прогрессіи.* — А извѣстно изъ математики, что логариѳмы суть числа ариѳметической прогрессіи, соотвѣтствующія числамъ геометрической прогрессіи. Слѣдовательно высота данной точки въ атмосферѣ, надъ какимъ либо ея слоемъ, можетъ быть разсматриваема какъ логариѳмъ его плотности. А какъ плотность всякаго слоя выражается высотою ртути въ барометрѣ, то очевидно, что высота атмосферы выше мѣста наблюденія, можетъ быть разсматриваема какъ логариѳмъ высоты барометрическаго столба. Слѣдовательно, если бы была вычислена таблица этого рода логариѳмовъ, то для опредѣленія разности между высотою двухъ слоевъ атмосферы, достаточно бы знать разность логариѳмовъ ихъ плотностей, выраженныхъ высотами барометрическаго столба.

Въ справедливости сдѣланнаго нами вывода мы можемъ убѣдиться также изъ слѣдующаго разсужденія.

Наблюденіе показываетъ намъ, что съ поднятіемъ на высоту 11,5 метровъ барометрическій столбъ опадаетъ на 1 миллиметръ, т. е. что высота воздушнаго столба въ 11,5 метровъ въ состояніи поддерживать въ равновѣсіи рту-

ный столбъ въ 1 миллиметръ высоты. Слѣдовательно, если высота ртутнаго столба у поверхности моря A (фиг. 593), при извѣстномъ состояніи температуры, равна 760 миллиметрамъ, то при поднятіи на 11,5 метра до B мы найдемъ, что барометрическій столбъ опустится до 759 миллиметровъ или, что одно и тоже, до $\frac{760.759}{760}$, т. е. $760 . \frac{759}{760}$. Значитъ, высота барометра въ B равна $\frac{759}{760}$ высоты барометра въ A. Представимъ себѣ теперь, что весь столбъ атмосферы, лежащій отвѣсно надъ AB, раздѣленъ на слои въ 11,5 метровъ высоты. Безъ чувствительной погрѣшности можно принять, что каждый изъ этихъ слоевъ въ 11,5 метровъ высоты, имѣетъ на всемъ своемъ протяженіи одинаковую плотность. Какъ плотности слоевъ воздуха пропорціональны давленіямъ, то слой BC будетъ менѣе плотенъ противу слоя AB, и мы можемъ сказать, что плотности этихъ слоевъ будутъ относиться какъ высоты барометровъ, находящихся въ точкахъ A и B, т. е. какъ 760 милл. къ $760 . \frac{759}{760}$ милл.

Фиг. 593.

F	$760 . \left(\frac{759}{760}\right)^5$
11,5	
E	$760 . \left(\frac{759}{760}\right)^4$
11,5	
D	$760 . \left(\frac{759}{760}\right)^3$
11,5	
C	$760 . \left(\frac{759}{760}\right)^2$
11,5	
B	$760 . \frac{759}{760}$
11,5	метра
A	760 милл.

Это значитъ, что плотность слоя BC будетъ $\frac{759}{760}$ плотности слоя AB. Поэтому при поднятіи на 11,5 метра отъ B къ C, высота барометра будетъ опускаться уже не на 1 миллиметръ, но на $\frac{759}{760}$ миллиметра. Значитъ, высота барометра, находящагося въ точкѣ C, будетъ равна $760 . \frac{759}{760} - \frac{759}{760}$, или $\frac{759^2}{760}$, или $760\left(\frac{759}{760}\right)^2$. Разсуждая точно также, мы придемъ къ заключенію, что плотности слоевъ BC и CD относятся между собою какъ высоты барометровъ, находящихся въ точкахъ B и C; слѣдовательно, что слой CD въ $\frac{759}{760}$ разъ легче слоя BC. — Поэтому, если слой BC въ состояніи поддерживать столбъ ртути въ $\frac{759}{760}$ миллиметра, то слой CD въ состояніи будетъ уравновѣшивать только столбъ въ $\frac{759}{760} \times \frac{759}{760}$, или $\left(\frac{759}{760}\right)^2$ миллиметровъ, и если мы поднимемся отъ точки C къ D, то барометръ опустится на $\left(\frac{759}{760}\right)^2$ миллиметра. Слѣдовательно въ точкѣ D высота барометра будетъ $760\left(\frac{759}{760}\right)^2 - \left(\frac{759}{760}\right)^2$, или $760\left(\frac{759}{760}\right)^3$.

Приведеннаго нами уже достаточно для показанія закона, которому слѣдуютъ плотности воздуха и высоты барометра для всѣхъ послѣдующихъ слоевъ; такъ напр. въ E высота барометра будетъ $760\left(\frac{759}{760}\right)^4$, въ F — $760\left(\frac{759}{760}\right)^5$ и т. д.; слѣдовательно, если мы поднимемся надъ A въ n разъ 15 миллиметровъ, то высота барометра будетъ $760\left(\frac{759}{760}\right)^n$.

Основываясь на этомъ, легко уже опредѣлить изъ разности барометрическихъ столбовъ, въ двухъ какихъ либо мѣстахъ, самую разность высотъ послѣднихъ.

Положимъ, что высота барометра въ какомъ либо мѣстѣ равна B и что высота барометра въ другомъ мѣстѣ (котораго отвѣсное разстояніе надъ первымъ есть какая нибудь мѣра длины, напр. метръ) равна B'. Изъ выведеннаго нами закона слѣдуетъ, что высота барометра b, въ какомъ нибудь мѣстѣ, лежащемъ

въ m разъ единицъ длины выше B, равна $B\left(\frac{B'}{B}\right)^m$; означивъ $\frac{B'}{B}$ чрезъ q, получимъ $b = Bq^m$. Зная B и b, которыя опредѣляются наблюденіями, можно изъ этого уравненія опредѣлить m. И въ самомъ дѣлѣ, если $b = Bq^m$, то $\log b = \log B + m \log q$ и $m = \frac{\log b - \log B}{\log q}$. Желая m выразить въ метрахъ, поступаютъ слѣдующимъ образомъ. Какъ $B' = 0,76 - \frac{1}{10464} = 0,7599044$ и $q = \frac{0,7599044}{0,76} = 0,9998743$; слѣдовательно $\log q = 0,9999454 - 1 = -0,0000546$ и $\frac{1}{\log q} = -18315$. Поэтому $m = -18315(\log b - \log B)$, или $= 18315(\log B - \log b)$.

Такова бы должна быть въ дѣйствительности разность высотъ двухъ мѣстъ, если бы степень плотности воздуха зависѣла единственно отъ давленія верхнихъ слоевъ атмосферы. Но есть много обстоятельствъ измѣняющихъ эту плотность.

Къ числу этихъ обстоятельствъ мы отнесемъ прежде всего температуру, которая оказываетъ вліяніе на состояніе воздуха. Какъ теплота расширяетъ воздухъ, то очевидно, что плотность или вѣсъ слоя воздуха, между мѣстами наблюденій, находятся въ прямой зависимости отъ температуры, а именно при высокой температурѣ одни и тѣже слои, увеличиваясь въ объемѣ, бываютъ легче, а при низкой температурѣ, уменьшаясь въ объемѣ, бываютъ тяжелѣе нежели при температурѣ 0°.

Если напр. барометръ, при температурѣ 0°, опускается на одну линію во время поднятія его на 73 фута надъ уровнемъ моря, то при тѣхъ же условіяхъ, но при высшей температурѣ барометръ опустится менѣе чѣмъ на одну линію, а при низшей температурѣ болѣе одной линіи, т. е. при высшей температурѣ надобно подняться болѣе чѣмъ при низшей, для того чтобы барометръ опустился на одну линію. Поэтому, при наблюденіи высоты барометра, должно вводить поправку, зависящую отъ измѣненія температуры воздуха; поправку эту должно прикладывать при температурѣ выше нуля и отнимать при низшей температурѣ. Величина самой поправки можетъ быть опредѣлена изъ законовъ расширенія воздуха отъ теплоты, которые будутъ нами разсмотрѣны впослѣдствіи. Здѣсь же мы ограничимся слѣдующимъ замѣчаніемъ. Какъ при измѣреніяхъ высотъ посредствомъ барометра, наблюдаютъ температуру только въ верхнемъ и нижнемъ пунктѣ, гдѣ собственно опредѣляются длины барометрическихъ столбовъ, оставляя безъ вниманія температуру промежуточныхъ слоевъ воздуха, то изъ обѣихъ наблюденныхъ температуръ берутъ средину, которую и принимаютъ за среднюю температуру всего слоя воздуха между двумя пунктами наблюденія. Выводъ этотъ конечно могъ бы быть только тогда совершенно справедливымъ, если бы температура воздуха въ дѣйствительности уменьшалась равномѣрно съ высотою, что не всегда бываетъ на самомъ дѣлѣ: потому что нерѣдко въ различныхъ высотахъ встрѣчаются попеременно то болѣе холодные, то болѣе теплые слои воздуха.

Мы приводимъ здѣсь это обстоятельство преимущественно для того, чтобы показать, почему измѣреніямъ высотъ посредствомъ барометра не должно приписывать безусловной точности.

Другое обстоятельство, имѣющее вліяніе на точность барометрическихъ измѣреній, есть затруднительность опредѣленія и введенія въ вычисленіе состоянія *влажности воздуха*, который, какъ мы увидимъ впослѣдствіи, бываетъ наполненъ въ извѣстной степени водяными парами. Присутствіе послѣднихъ измѣняетъ плотность воздуха. Кромѣ того не трудно понять, что все сказанное нами можно примѣнить въ строгости собственно къ двумъ мѣстамъ, лежащимъ отвѣсно другъ надъ другомъ.

Какъ различныя теченія воздуха, вѣтры, измѣняютъ высоту барометра даже для мѣстъ, лежащихъ на одномъ уровнѣ въ томъ случаѣ, если эти мѣста ана-

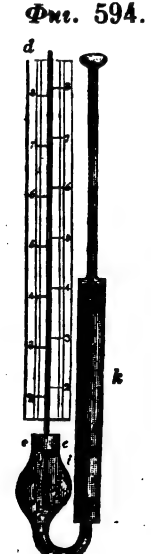
чительно удалены между собою, то очевидно, что тѣже обстоятельства могутъ имѣть вліяніе и на высоту барометра, наблюдаемую и въ точкахъ удаленныхъ между собою по вертикальной линіи. Наблюденія не должно производить въ дни вѣтренные и тогда, когда ртутный столбъ барометра обнаруживаетъ неправильныя поднятія и опусканія. Полученные результаты бываютъ тѣмъ надежнѣе, чѣмъ болѣе наблюденій было произведено въ обоихъ мѣстахъ, такъ напр., если наблюденія были производимы въ теченіи нѣсколькихъ мѣсяцевъ или года, ежедневно въ одни и тѣже часы.

При самыхъ строгихъ наблюденіяхъ, должно принимать во вниманіе зависимость положенія наблюдателя отъ широты мѣста. Извѣстно, что на экваторѣ дѣйствіе тяжести слабѣе, нежели у полюсовъ и поэтому, при однихъ и тѣхъ же условіяхъ, высота барометра будетъ понижаться по мѣрѣ приближенія мѣста наблюденія къ экватору. Впрочемъ поправка эта весьма незначительна.

Кромѣ указанныхъ нами обстоятельствъ на полученные результаты имѣютъ вліянія и тѣ, которыя неразлучно сопряжены съ показаніями барометра: измѣненіе плотности ртути отъ температуры и капилярность. Вліяніе ихъ было нами разсмотрѣно при описаніи барометра.

При измѣреніяхъ высотъ посредствомъ барометра, употребляютъ такъ называемый *дифференціальный барометръ* Копа, въ томъ случаѣ, если отъ измѣреній не требуется слишкомъ большой точности. — Дифференціальный барометръ Копа представленъ на фигурѣ 594-й, въ $1/4$ часть натуральной его величины. Онъ имѣетъ большое сходство съ разсмотрѣннымъ нами объемомѣромъ того же самаго ученаго. Прямая цилиндрическая трубка *k* соединена посредствомъ узкой стеклянной трубочки съ сосудомъ *i*. Этотъ стеклянный сосудъ закрытъ герметически сверху; чрезъ верхнюю оправу сосуда проходитъ насквозь тонкая трубка *cd*. Въ трубкѣ *k* находится обтянутый кожею поршень *f*, который можетъ быть поднимаемъ и опускаемъ; поршень этотъ, не препятствуя совершенно проходу воздуха, не позволяетъ ртути пробираться чрезъ свои края. Приборъ наполняется ртутью такъ, чтобы при поднятіи поршня *f* почти вся ртуть перешла изъ сосуда *i* въ цилиндръ *k*. Воздухъ, заключенный въ сосудѣ *i*, сообщается въ этомъ случаѣ чрезъ трубку съ наружнымъ воздухомъ. Весь приборъ укрѣпляется въ показанномъ на фигурѣ положеніи на дощечкѣ.

Фиг. 594.



Если опускать медленно поршень въ цилиндръ, то ртуть переходитъ въ сосудъ *i* и поднимается въ немъ, такъ что спустя немного времени, нижній конецъ трубки закрывается ртутью. Вслѣдствіе того запирается въ верхней части сосуда *i* извѣстное количество воздуха, плотность котораго соотвѣтствуетъ окружающей атмосферѣ. Продолжая опусканіе поршня *f* до тѣхъ поръ, пока поверхность ртути не достигнетъ оконечности шпинька *a*, который укрѣпленъ къ крышкѣ *ee* на подобіе шпинька фортенева барометра, то очевидно, что запертый воздухъ достигнетъ сжатія, зависящаго отъ размѣра прибора и положенія шпинька.

Положимъ, что оконечность шпинька расположена такимъ образомъ, что при положеніи ртути у *a*, запертый воздухъ сжимается на $1/4$ первоначальнаго своего объема. Примѣнивъ къ этому предположенію маріотовъ законъ, получимъ, что ртуть должна подняться въ трубкѣ *cd* на высоту равную $1/3$ высоты барометра.

Какое бы не взяли отношеніе для сжатія запертаго воздуха, при поднятіи ртути до шпинька *a*, во всякомъ случаѣ очевидно, что ртутный столбъ, поднятый вслѣдствіе этого сжатія въ трубку *cd*, долженъ быть пропорціоналенъ

положенію ртути въ барометрѣ. Слѣдовательно можно легко найти дѣйствительную высоту ртути въ барометрѣ, если помножить высоту, наблюденную въ трубкѣ cd, на постоянное число, которое имѣетъ отдѣльную величину для каждаго прибора этого рода.

Допустимъ, что по установленіи прибора высота ртутнаго столба въ трубкѣ cd равна 72 линіямъ въ то время, когда высота ртути въ барометрѣ простирается до 335 линій. Въ этомъ случаѣ высоты ртутныхъ столбовъ, полученныхъ посредствомъ прибора, будутъ относиться къ соотвѣтствующимъ высотамъ барометра какъ 72 къ 325, и поэтому для опредѣленія высоты барометра должно помножить высоту ртутнаго столба, наблюденную въ дифференціальномъ барометрѣ, на $^{335}/_{72}$, или, что одно и тоже, на 4,5627.

Представляя этотъ частный случай общимъ выраженіемъ, получимъ $H=\alpha A$, гдѣ A есть наблюденная высота дифференціальнаго барометра, α — постоянные коэффиціенты, изъ которыхъ каждый соотвѣтствуетъ особенному прибору, и H — высота барометра.

Если въ сосудѣ i находится другая проволока, нижній конецъ которой b лежитъ нѣсколько выше a, то при положеніи уровня ртути у b запертый воздухъ сжимается сильнѣе, нежели въ предшествовавшемъ случаѣ. Поэтому, между ртутнымъ столбомъ, заключеннымъ въ cd, и ртутью въ барометрѣ будетъ существовать уже другое отношеніе. Слѣдовательно коэффиціентъ, на который должно помножить высоту ртути надъ точкою b (положимъ B) для полученія высоты барометра H, будетъ уже имѣть другую величину β, противу прежняго случая, когда ртуть прикасалась къ оконечности проволоки a; мы будемъ имѣть $H=\beta B$.

Если коэффиціенты опредѣлены правильно, то мы должны получить изъ наблюденій одинаковыя высоты барометра, какъ для одной, такъ и для другой оконечностей проволокъ; поэтому два наблюденія, произведенныя сряду надъ проволокой a и надъ проволокой b, могутъ служить повѣркою другъ для друга. Трубка cd снабжена двумя масштабами, нулевая точка одного лежитъ у a, а другаго у b; отсчитыванія производятся то на одной, то на другой скалѣ, смотря потому доводится ли ртуть до a или до b.

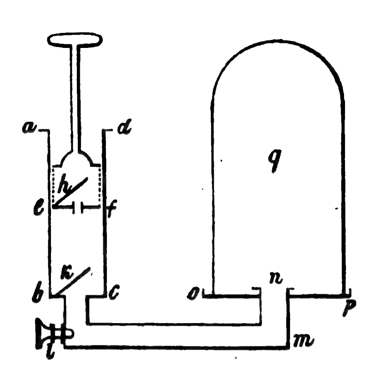
§ 179. Изъ маріотова закона слѣдуетъ, что если два пространства наполненныя воздухомъ находятся между собою въ сообщеніи, то послѣдній можетъ придти только тогда въ равновѣсіе, когда плотность его сдѣлается одинаковою въ обоихъ пространствахъ. Представимъ себѣ, что въ одномъ изъ сообщающихся между собою сосудовъ воздухъ обладаетъ большею плотностію противу воздуха, заключающагося въ другомъ сосудѣ. На основаніи маріотова закона болѣе плотный воздухъ долженъ обладать и большею упругостію, а какъ воздухъ стремится къ расширенію согласно своей упругости, то понятно, что онъ будетъ переходить изъ перваго сосуда во второй до тѣхъ поръ, пока упругость его не будетъ одинакова въ обоихъ сосудахъ. Воздушный насосъ.

На этомъ примѣненіи маріотова закона основано устройство воздушныхъ насосовъ, принадлежащихъ къ важнѣйшимъ физическимъ приборамъ.

Приборы эти, обязанные своимъ происхожденіемъ въ 1650 году магдебургскому бургомистру Ото-Герике, имѣютъ цѣлію *разрѣжать* воздухъ въ запертомъ пространствѣ до такой степени, чтобы можно было безъ чувствительной погрѣшности принимать это пространство за *безвоздушное*.

Главнѣйшія основанія этого прибора могутъ быть объяснены фиг. 595, представляющей вертикальный разрѣзъ самаго обыкновеннаго воздушнаго насоса.

Фиг. 595.



Пустой мѣдный *цилиндръ abcd*, посредствомъ трубки, находится въ соединеніи со стеклиннымъ *колоколомъ q*, который плотно прилегаетъ къ *кругу op*, называемому *тарелкой* воздушнаго насоса. Предположимъ, что колоколъ представляетъ собою пространство, изъ котораго должно извлечь воздухъ. *Для* этого служитъ плотно входящій въ цилиндръ поршень *ef*, имѣющій по срединѣ отверстіе, запирающееся клапаномъ *h*. Другой клапанъ *k* запираетъ нижнее отверстіе цилиндра. Оба эти клапана отворяются тогда только, когда давленіе дѣйствуетъ на нихъ снизу, и запираются въ противоположномъ случаѣ.

Для приведенія этого прибора въ дѣйствіе вдвигаютъ поршень сперва въ цилиндръ до *bc;* сгущаемый воздухъ затворитъ клапанъ *k* и отворитъ клапанъ *h*, чрезъ который онъ выйдетъ весь наружу въ томъ случаѣ, когда основаніе поршня *ef* будетъ лежать плотно на клапанѣ *k*. Какъ при этомъ подъ клапаномъ *h* не будетъ заключаться воздуха, то очевидно, что давленіе атмосферы, дѣйствуя сверху, затворитъ его.

Поднимемъ теперь поршень кверху. При поднятіи его очевидно подъ поршнемъ должно образовываться пустое, безвоздушное пространство. Но какъ по другую сторону клапана *k* въ трубкѣ *lm* и подъ колоколомъ находится воздухъ, то ясно, что послѣдній вслѣдствіе своей упругости будетъ стремиться къ наполненію этого пространства: онъ отворитъ клапанъ *k*, взойдетъ въ пустую часть цилиндра *abcd* и придетъ только тогда въ равновѣсіе, когда упругость его во всѣхъ точкахъ занимаемаго пространства будетъ одинакова. А какъ занимаемое имъ пространство увеличилось, то упругость его должна уменьшиться противу той, которою онъ обладалъ прежде открытія клапана *k* и которая была одинакова съ упругостію окружающей атмосферы. Опустимъ теперь поршень. Какъ упругость воздуха подъ поршнемъ уже менѣе давленія атмосферы, то очевидно, что клапанъ *h* при началѣ опусканія будетъ удерживаться закрытымъ отъ давленія атмосферы. Вслѣдствіе того воздухъ подъ поршнемъ будетъ сжиматься, упругость его будетъ увеличиваться и онъ затворитъ клапанъ *k*. Когда же упругость его увеличится до такой степени, что онъ въ состояніи будетъ преодолѣвать давленіе атмосферы, то ясно, что клапанъ *h* откроется, при чемъ, по мѣрѣ дальнѣйшаго погруженія поршня, заключающійся подъ нимъ воздухъ будетъ выходить наружу. По выходѣ его клапанъ *h* снова затворится.

При вторичномъ поднятіи поршня повторятся тѣже явленія какъ и при первомъ поднятіи; вся разница заключается только въ томъ, что воздухъ, устремляющійся къ занятію пустоты, обладаетъ уже меньшею плотностію, а слѣдовательно и меньшею упругостію, нежели при первомъ своемъ устремленіи въ безвоздушное пространство. Понятно, что съ занятіемъ послѣдняго упругость воздуха должна еще болѣе уменьшиться. На этомъ основаніи чрезъ постоянное поднятіе и опусканіе поршня мы будемъ постоянно извлекать изъ подъ колокола извѣстное количество воздуха, соотвѣтствующее пустотѣ образующейся подъ поршнемъ. Вслѣдствіе того воздухъ, находящійся подъ колоколомъ, будетъ постепенно разрѣжаться. Но не должно увлекаться этимъ и полагать, что можно наконецъ получить подъ колоколомъ совершенную пустоту. Чтобы убѣдиться въ справедливости этого замѣчанія, положимъ, что объемъ колокола *q* и трубки *lm* равенъ одному кубическому футу и что тотъ же самый объемъ соотвѣтствуетъ пустотѣ, образующейся въ цилиндрѣ *abcd* при поднятіи поршня. Если поршень поднятъ въ первый разъ, то объемъ воздуха подъ колоколомъ въ трубкѣ *lm*, соотвѣтствующій кубическому футу, распространяется на протяженіи удвоеннаго пространства. Слѣдовательно подъ колоколомъ и въ трубкѣ послѣ перваго поднятія будетъ только половина прежде заключавшагося въ немъ воздуха. Точно также послѣ вторичнаго поднятія поршня выдетъ изъ подъ колокола снова половина оставшагося воздуха; тоже самое произойдетъ при третьемъ, четвертомъ и дальнѣйшихъ поднятіяхъ поршня. Однимъ словомъ, нельзя будетъ произвести подъ колоколомъ совершенной пустоты, потому что при каждомъ поднятіи поршня извлекается изъ подъ колокола только половина того воздуха, который оставался послѣ предшествовавшаго поднятія.

Если бы объемъ цилиндра не равнялся бы объему колокола и трубки, то уменьшеніе плотности воздуха происходило бы въ другомъ отношеніи, которое бы обусловилось отношеніемъ объема цилиндра къ объему колокола и соединяющей трубки.

Но если и нельзя произвести совершенной пустоты подъ колоколомъ, то можно по крайней мѣрѣ разрѣдить въ немъ воздухъ до такой степени, что не въ состояніи уже будетъ поднимать клапана *k*. Чтобы доводить разрѣженіе какъ можно далѣе, стараются придавать клапанамъ наибольшую легкость: для этого устраиваютъ ихъ изъ тонкой непроницаемой для воздуха тафты. Кромѣ того, на основаніи предъидущаго разсужденія, принимая въ разсчетъ объемы частей, составляющихъ насосъ и число поднятій поршня, по настоящему мы бы должны были получать по желанію извѣстную степень разрѣженія воздуха. На самомъ дѣлѣ, какъ бы совершенно не были устроены части воздушнаго насоса, мы не въ состояніи достигнуть степеней разрѣженія, указываемыхъ вычисленіемъ. Причиною этого служитъ слѣдующее обстоятельство. Никогда нельзя устроить поршень такъ, чтобы, при нахожденіи его, у самаго основанія цилиндра, не заключалось вовсе промежуточнаго пространства между двумя при-

касающимися плоскостями. Если бы даже плоскости эти и прикасались совершенно точно другъ ко другу, то нельзя никогда избѣгнуть пустаго пространства непосредственно подъ самымъ клапаномъ поршня. Поэтому если при опусканіи поршня клапанъ его отворяется для пропуска сжатаго подъ нимъ воздуха, то всегда остается непосредственно подъ клапаномъ часть воздуха, которая не успѣла удалиться наружу и которой плотность равна атмосферѣ. Это то пространство въ насосѣ, наполненное воздухомъ, называютъ *вреднымъ пространствомъ*. Представимъ себѣ, что при поднятіи поршня клапанъ *k* оставляетъ закрытымъ отверстіе трубки, чего очевидно мы могли бы достигнуть, если бы вмѣсто клапана употребили въ этомъ мѣстѣ такой кранъ, посредствомъ котораго можно бы было возстановлять и прерывать по произволу сообщеніе между цилиндромъ и трубкою. Если при этомъ условіи поднять поршень, то воздухъ, находящійся во вредномъ пространствѣ, распространится на всемъ протяженіи пустоты, образующейся подъ поршнемъ, и плотность его будетъ очевидно относиться къ плотности атмосфернаго воздуха, какъ объемъ вреднаго пространства къ объему полученной пустоты. Если бы воздухъ, оставшійся подъ колоколомъ, и былъ разрѣженъ до этой степени, то ясно, что воздухъ не можетъ уже болѣе переходить изъ подъ колокола въ цилиндръ, даже и въ случаѣ сообщенія между этими двумя частями. Въ этомъ случаѣ достигается *предѣлъ разрѣженія*, такъ что дальнѣйшее выкачиваніе воздуха становится уже безполезнымъ. Чтобы убѣдиться въ справедливости послѣдняго обстоятельства, употребляютъ описанный нами выше укороченный барометръ.

Приборъ этотъ ставятъ на тарелку воздушнаго насоса. Если высота ртути въ укороченномъ барометрѣ равна 1 линіи, когда барометръ снаружи показываетъ 30 дюймовъ, то значитъ, что воздухъ разрѣженъ подъ колоколомъ въ 12×30 или въ 360 разъ противу обыкновеннаго своего состоянія. По достиженіи предѣла разрѣженія, сколько бы мы не выкачивали воздухъ, высота укороченнаго барометра будетъ оставаться неизмѣнною. На практикѣ при устройствѣ насосовъ даютъ имъ такое расположеніе частей, при которомъ по возможности уменьшается это пространство. Мы покажемъ впослѣдствіи средства, которыя употребляютъ съ этою цѣлію.

Перейдемъ теперь къ описанному нами выше насосу. Послѣ разрѣженія воздуха происходятъ слѣдующія явленія.

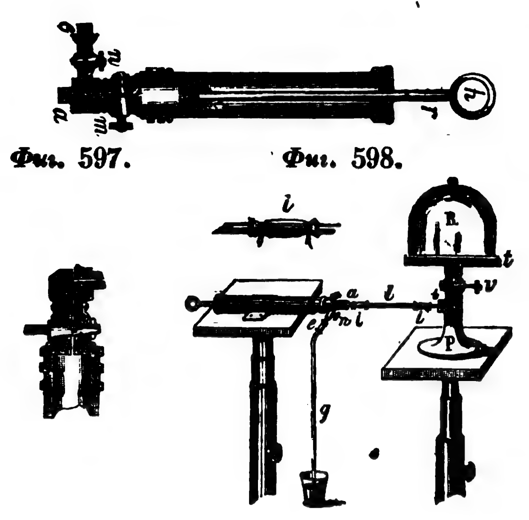
Внутри колокола *q* не заключается болѣе воздуха, котораго упругость могла бы противодѣйствовать давленію внѣшняго воздуха. Вслѣдствіе того послѣдній прижимаетъ колоколъ съ такою силою къ тарелкѣ, что даже съ помощію значительной силы нельзя его отнять прочь. Только пропустивъ воздухъ, съ помощію винта *l*, подъ колоколъ, мы будемъ въ состояніи отдѣлить его отъ тарелки.

Кромѣ описаннаго нами воздушнаго насоса есть еще много другихъ, которыхъ устройство въ главнѣйшихъ частяхъ одно и тоже.

Мы разсмотримъ предварительно устройство насосовъ, въ которыхъ вмѣсто клапановъ употребляются краны.

1) *Ручной* воздушный насосъ, изобрѣтенный Гэ-Люсакомъ, представленъ на 596-й фиг. въ 1/8 ч. натуральной его величины. Отъ нижняго конца этого насоса идетъ узкая трубка *a*, сообщающаяся съ другою трубкою *e*. Обѣ эти трубки могутъ быть запираемы кранами *m* и *n*, послѣ оборота ихъ на 90 градусовъ, какъ видно изъ 597-й фиг. Для дѣйствія этимъ насосомъ, кладутъ его горизонтально на столъ (598-я фиг.) и къ концу *a* приставляютъ стеклянную трубку *l*, сообщающуюся съ колоколомъ насоса *R* и перевязанную у *i* каучукомъ, для воспрепятствованія проходу воздуха. Потомъ запираютъ одинъ только винтъ *n* и подвигаютъ поршень *r* къ себѣ, отъ чего часть воздуха изъ стекляннаго колокола перейдетъ въ цилиндръ и выйдетъ изъ клапана *e* при обратномъ движеніи поршня *r*. О степени разрѣженія воздуха мы можемъ, въ этомъ случаѣ, судить посредствомъ 30-ти дюймовой, стеклянной трубки *eg*, опущенной однимъ концомъ въ стаканъ со ртутью, которая, по открытіи винта *n*, будетъ подниматься въ трубкѣ тѣмъ выше, чѣмъ болѣе воздухъ будетъ разрѣженъ подъ колоколомъ.

Фиг. 596.



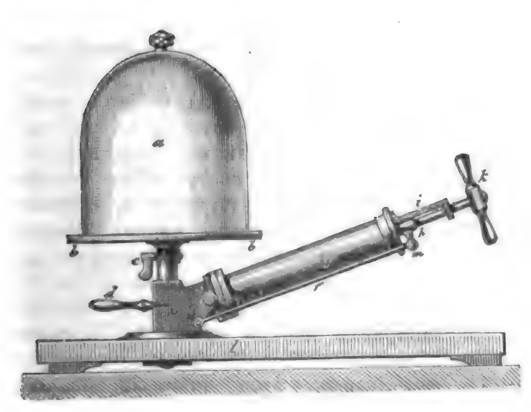
Фиг. 597. *Фиг.* 598.



Такого устройства насосы употребляютъ преимущественно при опытахъ, въ особенности въ томъ случаѣ, когда разрѣживаемыя пространства бываютъ малы и не требуется при дѣйствіи большой поспѣшности.

Мы опишемъ здѣсь еще одинъ насосъ, изобрѣтенный весьма недавно механикомъ Аутенритомъ въ Ульмѣ. Насосъ этотъ, принадлежащій собственно къ такъ называемымъ ручнымъ насосамъ, замѣчателенъ какъ по удобству при употребленіи, такъ и по дешевизнѣ своей. Всѣ ручные насосы, въ родѣ разсмотрѣнныхъ нами, имѣютъ то неудобство, что послѣ каждаго движенія поршня должно отворять или запирать кранъ и поэтому отъ одной неосмотрительности выкачиваніе воздуха можетъ сдѣлаться гораздо продолжительнѣе того, какъ бы слѣдовало; сверхъ того горизонтальное или вертикальное расположеніе цилиндра затрудняетъ движенія поршня. Недостатки эти устранены въ приборѣ Аутенрита, представленномъ на фиг. 599-й въ одну шестую часть натуральной своей величины.

Фиг. 599.

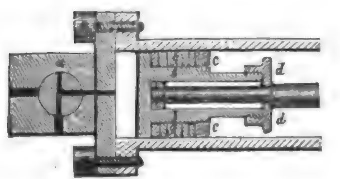


Колоколъ *a* ставится на мѣдную тарелку *b*; въ металлическомъ основаніи, на которомъ лежитъ тарелка, находится кранъ *e*, поворачивающійся при каждомъ

движеніи поршня посредствомъ стержня *f*. Кранъ этотъ устроенъ такимъ образомъ, что при вращеніи своемъ онъ можетъ *только* пропускать воздухъ извлекаемый изъ подъ колокола. Собственно самый насосъ есть *g*, поршень котораго прикасается своимъ стержнемъ плотно къ пропускающему его отверстію крышки; тотъ же самый стержень проходитъ съ незначительнымъ треніемъ чрезъ обхватывающую его обоймицу *h*, которая управляетъ поворотами крана слѣдующимъ образомъ. Къ обоймицѣ *h* прикрѣплена рукоятка, соединяющаяся у *m* посредствомъ винта со стержнемъ *f*; къ части рукоятки, прикасающейся къ обоймицѣ, придѣланъ винтъ, посредствомъ котораго послѣдняя можетъ по произволу быть прижимаема къ стержню поршня. Взявши за ручку *k*, выдвигаютъ стержень кверху и увлекаютъ при этомъ движеніи обоймицу, которая задерживается загибомъ полоски *i* въ то время, когда соединенный съ нею кранъ *e* сдѣлалъ четверть поворота на окружности; самый же стержень продолжаетъ двигаться далѣе; при опусканіи стержня обоймица возвращается назадъ къ крышкѣ насоса и приводитъ кранъ *e* въ его первоначальное положеніе. Но чтобы при движеніи стержня внутри обоймицы не происходило безполезнаго тренія, то придѣлываютъ утолщенія необходимыя для тренія только къ двумъ мѣстамъ стержня и именно къ тѣмъ, которыя должны увлекать обоймицу.

Для объясненія внутренняго устройства насоса представлена въ разрѣзѣ внутренняя часть его въ половину натуральной величины на фиг. 600. *a* означаетъ кранъ, съ тонкими сквозными отверстіями для уменьшенія вреднаго пространства, *b* мѣдный поршень, *g* обвивающая его кожа, а *c* привинченное кольцо, прикрѣпляющее кожу къ дну поршня. Къ утонченному концу стержня *f* привинчиваются толстыя пластинки *e*, которыя могутъ двигаться въ пустотѣ поршня и задерживаются привинченной крышкой *d* поршня. Поэтому при поднятіи стержня кверху онъ движется сперва одинъ въ пустотѣ поршня и увлекаетъ за собою послѣдній только тогда, когда кранъ окончилъ надлежащій поворотъ.

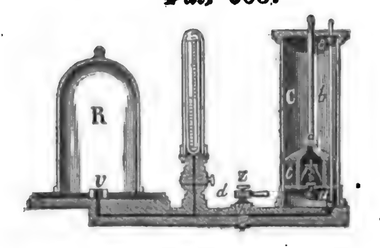

Фиг. 600.



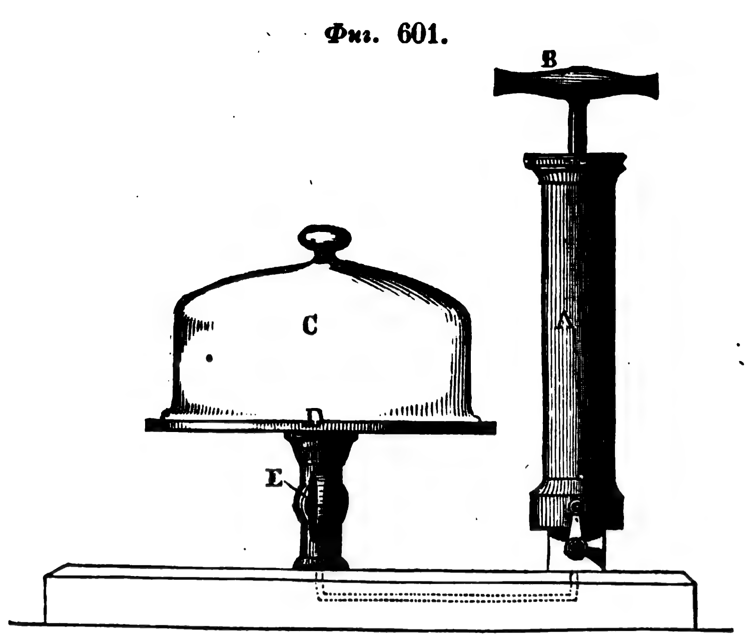
Когда запертъ кранъ *c* (фиг. 599), то колоколъ *a* прилегаетъ плотно къ тарелкѣ *b*. Для пропуска воздуха подъ колоколъ отвинчиваютъ кранъ *d* посредствомъ ручки. Насосъ этотъ съ принадлежностями стоитъ до 10 р. сер. Въ этихъ насосахъ пространство между краномъ и дномъ поршня во время опусканія послѣдняго находится въ сообщеніи съ атмосферою, а слѣдовательно наполняется воздухомъ одинаковой упругости съ послѣднею. При поднятіи поршня воздухъ этотъ проникаетъ подъ колоколъ насоса. Поэтому пространство между краномъ *m* и дномъ поршня во время его опусканія к есть собственно вредное пространство, о которомъ мы говорили выше. Чтобы уменьшить это пространство въ ручныхъ насосахъ даютъ имъ форму, представленную на фиг. 601 и 602, изъ которыхъ вторая объясняетъ собственно устройство поршня; коническая фигура основанія послѣдняго имѣетъ цѣлію уменьшеніе вреднаго пространства.

2) Изъ числа *большихъ* насосовъ наиболѣе примѣчателенъ насосъ, изображенный на фиг. 603 въ продольномъ разрѣзѣ. Въ немъ возстановленіе и прекращеніе сообщенія между цилиндромъ *C* и колоколомъ *R* совершается посредствомъ небольшаго поршня *a*, стержень котораго *b* проходитъ черезъ большой поршень *c* и оканчивается сверху приставомъ *e*. — Если большой поршень *c* находится внизу цилиндра, то поршень *a* запираетъ плотно отверстіе, прерывая при этомъ сообщеніе между цилиндромъ и колоколомъ. При поднятіи большаго

Фиг. 603.

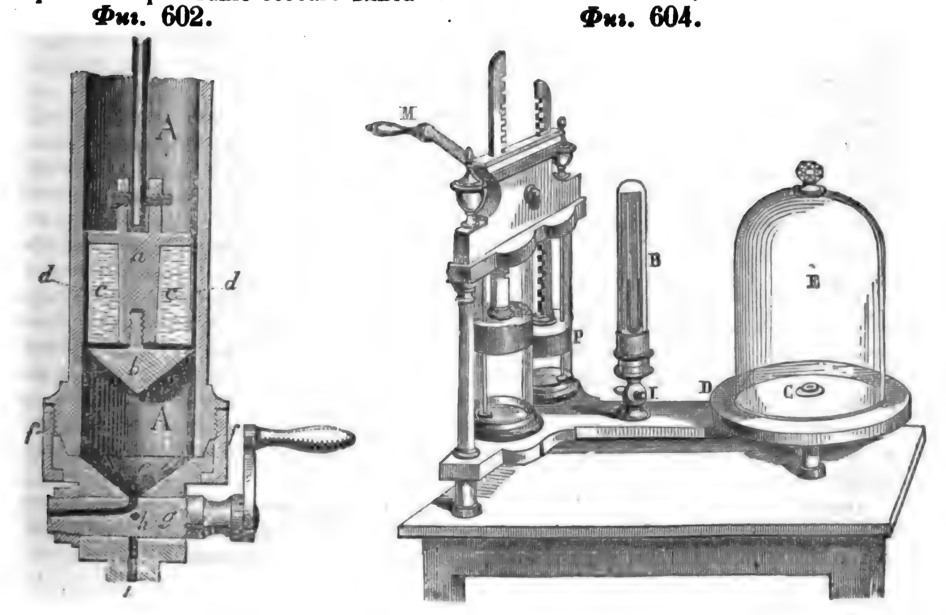


Фиг. 601.



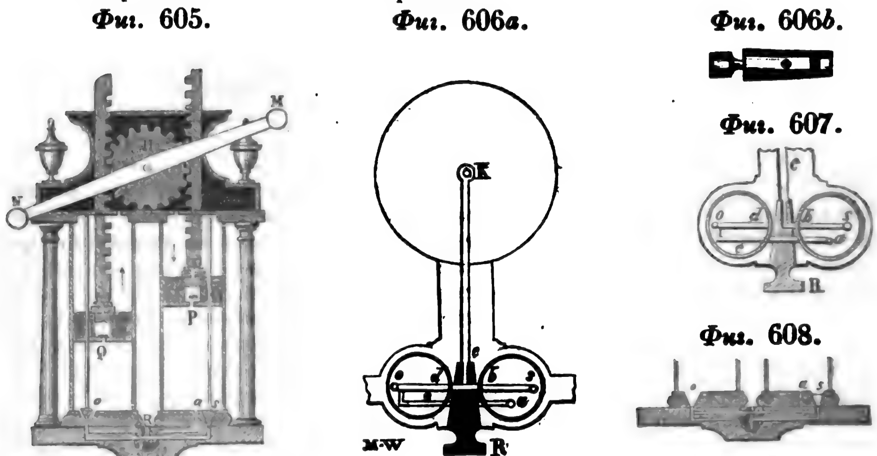
поршня *c*, стержень *b* выдвигается на столько, сколько нужно для открытія нижняго отверстія, потому что приставъ *e* не позволяетъ ему двигаться далѣе. При этомъ воздухъ перейдетъ изъ колокола въ цилиндръ. При опусканіи поршня *c* опустится въ тоже время и поршень *a*, который запретъ при этомъ каналъ, сообщающій цилиндръ съ колоколомъ. Когда же упругость сжимаемаго воздуха въ состояніи будетъ преодолѣть давленіе атмосферы, то клапанъ *i* откроется и заключавшійся подъ нимъ воздухъ выйдетъ наружу. Съ помощію крана *x* можно пропускать подъ колоколъ воздухъ снаружи. Разрѣженіе воздуха здѣсь опредѣляется посредствомъ укороченнаго 7-ми дюйм. барометра, помѣщаемаго подъ особымъ колпакомъ (между *R* и *C*), который имѣетъ сообщеніе какъ съ большимъ колоколомъ, такъ и съ цилиндромъ *C*, чрезъ поворачиваніе особаго винта *d*.

Фиг. 602. *Фиг.* 604.



Но болѣе совершенное устройство представляетъ насосъ, изображенный на фиг. 604. Онъ состоитъ изъ двухъ стеклянныхъ или мѣдныхъ цилиндровъ; внутри каждаго изъ нихъ находится плотно входящій поршень *P*. Къ обоимъ поршнямъ придѣланы стержни, имѣющіе видъ зубчатыхъ полосъ; полосы эти захватываютъ съ обѣихъ сторонъ за зубцы колеса *H* (фиг. 605). Къ оси послѣдняго колеса прикрѣплена рукоятка *MN*. Поднимая и опуская послѣдовательно концы рукоятки, сообщаютъ колесу перемѣнныя движенія то вправо, то влѣво; колесо же въ свою очередь, задѣвая за зубцы полосъ при движеніи влѣво, поднимаетъ лѣвую, а при движеніи вправо опускаетъ правую полосу, такъ что когда одна изъ нихъ опускается, то другая поднимается. Оба цилиндра утверждены герметически на подставахъ, которые придѣланы къ металлической доскѣ, оканчивающейся тарелкой *D* (фиг. 604). На эту тарелку кладутъ плотный стеклянный колоколъ *E*, подъ которымъ разрѣживаютъ воздухъ. Противу центра *C* тарелки находится отверстіе, которое сообщаетъ внутренность колокола съ цилиндрами посредствомъ канала, представленнаго въ планѣ на фиг. 606 *a*. Каналъ этотъ идетъ отъ *K* до *c* и потомъ поворачиваетъ вправо къ отверстію *s* и влѣво къ отверстію *o*.

Фиг. 605. Фиг. 606*a*. Фиг. 606*b*. Фиг. 607. Фиг. 608.



Фиг. 605 представляетъ отвѣсный разрѣзъ передней части насоса. На ней видно какимъ образомъ колесо *H*, приводимое во вращеніе рукояткою *MN*, передаетъ это движеніе двумъ зубчатымъ полосамъ, а слѣдовательно и поршнямъ *P* и *Q*. Внутри этихъ поршней находится цилиндрическая пустота, закрывающаяся въ нижней своей части небольшимъ клапаномъ, который поддерживается слабой пружиной. Пустота, въ которой расположены эти клапаны, сообщается съ верхнею частію цилиндра чрезъ отверстіе, придѣланное надъ клапаномъ. Отверстіе это постоянно открыто для доставленія прохода воздуху. Чрезъ внутренность поршней проходятъ цилиндрическіе стержни, нижнія части которыхъ *o* и *s*, подобно тому, какъ и въ предъидущемъ насосѣ, закрываютъ и отпираютъ соотвѣтственныя имъ отверстія. Въ разсматриваемомъ нами насосѣ коническія утолщенія *o* и *s*, возстановляютъ и прерываютъ послѣдовательно сообщенія между обоими цилиндрами и колоколомъ. Если напр. опускается поршень *P*, то увлекаемый имъ желѣзный стержень запираетъ отверстіе *s*. При поднятіи того же поршня, какъ стержень, такъ и коническое утолщеніе нижней части его приподнимаются немного кверху до тѣхъ поръ, пока верхняя часть стержня не коснется крышки цилиндра. Понятно, что стержень этотъ не принимаетъ болѣе участія въ дальнѣйшемъ движеніи поршня.

Чтобы понять дѣйствіе насоса съ двумя цилиндрами, стоитъ только припомнить дѣйствіе насоса съ однимъ цилиндромъ. Дѣйствіе это повторяется последовательно каждымъ цилиндромъ. Въ этомъ то и заключается выгода упо-

требленія двухъ цилиндровъ, потому что при каждомъ движеніи рукоятки одинъ изъ поршней (поднимающійся) вытягиваетъ воздухъ изъ подъ колокола въ соотвѣтственный цилиндръ, между тѣмъ какъ другой (опускающійся) выпускаетъ наружу изъ своего цилиндра тотъ воздухъ, который былъ имъ вытянутъ при предшествовавшемъ движеніи рукоятки.

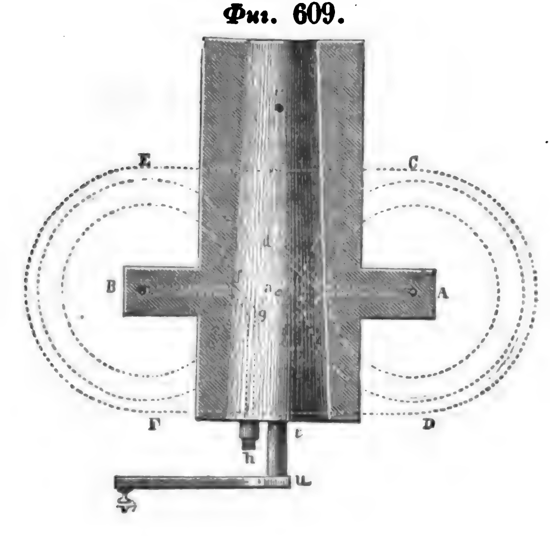
Для того, чтобы производить разрѣженіе воздуха за *предѣломъ разрѣженія*, Бабине придумалъ весьма остроумное устройство. Какъ воздухъ равнаго давленія съ атмосферой остается въ вредномъ пространствѣ послѣ выпусканія воздуха изъ клапана наружу, и какъ этотъ воздухъ потомъ распространяется подъ колоколъ, то Бабине имѣлъ въ виду оставить въ соединеніи съ колоколомъ тотъ цилиндръ, который вытягиваетъ изъ него воздухъ и уединить отъ колокола другой, назначаемый собственно для выпусканія воздуха, извлекаемаго первымъ цилиндромъ. Для этого онъ устроилъ особеннаго рода кранъ *R* (фиг. 606 *a* и *b*), помѣщаемый у самаго искривленія канала, идущаго отъ отверстія *K* къ отверстіямъ *s* и *o*. Внутри этого крана находятся два перпендикулярные другъ къ другу канала, которые, при различныхъ поворотахъ винта, даютъ попеременно сообщенія различнымъ частямъ насоса.

На фиг. 606 *a* представленъ горизонтальный разрѣзъ крана *R*, въ томъ положеніи, когда онъ сообщаетъ между собою отверстіе *K* колокола и оба отверстія *o* и *s* цилиндровъ, при посредствѣ центральнаго и двухъ боковыхъ отверстій. Въ такомъ случаѣ насосъ дѣйствуетъ такъ, какъ мы описали выше, т. е. даетъ указанный нами предѣлъ разрѣженія. Но если по достиженіи этого предѣла повернуть кранъ на своей оси на четверть оборота, то поперечный каналъ его *db*, который былъ прежде въ горизонтальномъ положеніи (фиг. 606 *a*), приметъ теперь отвѣсное положеніе (фиг. 607) и отверстія его будутъ заперты стѣнками, окружающими кранъ. Но за то второй каналъ крана, который былъ прежде въ бездѣйствіи и который заступилъ мѣсто перваго канала, соединяетъ теперь *одинъ* правый цилиндръ съ колоколомъ, посредствомъ отверстія *cbs* (фиг. 607); кромѣ того, винтъ при этомъ же самомъ поворотѣ сообщаетъ правый цилиндръ съ лѣвымъ, посредствомъ отверстія *aeo* (фиг. 607) или *aico* (фиг. 605, представляющая тоже положеніе винта въ вертикальномъ разрѣзѣ). Этотъ второй каналъ начинается у центральнаго отверстія *a*, продѣланнаго въ основаніи праваго цилиндра, проходитъ чрезъ кранъ къ лѣвому цилиндру до отверстія *o*, запирающагося боковымъ стержнемъ поршня, двигающагося въ лѣвомъ цилиндрѣ (фиг. 607 и 608). Но этотъ каналъ прерывается краномъ въ томъ случаѣ, когда онъ, какъ показываютъ фиг. 605 и 606 *a*, принимаетъ первоначальное свое положеніе.

Положимъ теперь, что поднимающійся правый поршень вытянулъ извѣстное количество воздуха изъ подъ колокола; при опусканіи того же поршня запирается каналъ, сообщающійся съ отверстіемъ *o*. Если бы не было теперь сообщенія между обоими цилиндрами, то вытянутый воздухъ постепенно бы сгущался подъ поршнемъ праваго цилиндра и наконецъ достигъ бы до такой упругости, которая бы позволила ему отворить клапанъ поршня; при чемъ, какъ мы знаемъ, подъ поршнемъ во вредномъ пространствѣ осталась часть воздуха одинаковой плотности съ атмосферой. Но если существуетъ сообщеніе между цилиндрами, достигаемое поворотомъ винта *R*, то при опусканіи праваго поршня, вытянутый имъ воздухъ вгоняется въ лѣвый цилиндръ чрезъ отверстіе *a*, каналъ *ei* и отверстіе *o* (фиг. 608), которое въ этомъ случаѣ открыто, чему очевидно способствуетъ самое поднятіе лѣваго поршня, который, какъ извѣстно, поднимается въ то время, когда опускается правый поршень. При этомъ способѣ клапанъ поршня праваго цилиндра будетъ закрытъ постоянно до самаго прикосновенія поршня съ дномъ цилиндра, такъ что надъ нимъ во вредномъ пространствѣ можетъ заключаться *только весьма разрѣженный воздухъ*. При поднятіи праваго поршня опускается лѣвый, но въ настоящемъ случаѣ воздухъ, находящійся подъ послѣднимъ, уже не въ состояніи проникнуть въ правый цилиндръ, потому что при этомъ отверстіе *o* запирается боковымъ стержнемъ поршня.

Одинаковой цѣли съ краномъ Бабине достигаетъ и кранъ Грасмана, представленный на фиг. 609. *CDEF* есть основаніе, на которомъ лежатъ цилиндры.

Фиг. 609.



Отъ дна цилиндра *A* идетъ каналъ сперва отвѣсно книзу, потомъ по горизонтальному направленію отъ *p* къ *c*, гдѣ онъ примыкаетъ къ крану; тоже самое устройство и съ другой стороны; отъ дна цилиндра *B* идетъ каналъ сперва отвѣсно книзу, потомъ горизонтально отъ *m* къ *f*. Кранъ просверленъ по тремъ направленіямъ. Одинъ каналъ идетъ при положеніи крана, означенномъ на фигурѣ, отъ *e* вертикально книзу, потомъ горизонтально по направленію оси вращенія крана до *d* и потомъ отъ *d* до *c;* другой каналъ ведетъ отъ *f* къ *g* и отъ *g* къ *h:* третій каналъ видѣнъ на фигурѣ только сверху у *a*; онъ идетъ внутри крана по срединѣ между *c* и *f* перпендикулярно къ плоскости каналовъ *edc* и *fgh*.

На фиг. представлено то положеніе, въ которомъ онъ долженъ находиться, когда поршень поднимается въ цилиндрѣ *A*. Воздухъ изъ подъ колокола проходитъ при этомъ чрезъ *e*, *d*, *c* и *p* въ цилиндръ *A;* съ другой же стороны опускающійся поршень цилиндра *B* вытѣсняетъ изъ послѣдняго воздухъ чрезъ каналъ *mfgh*.

Представимъ себѣ теперь, что вовсе не существуетъ канала *a*. Если, послѣ совершеннаго поднятія поршня *A* и совершеннаго опусканія поршня *B*, повернуть кранъ, такимъ образомъ, чтобы конецъ рукоятки *v*, находящійся на фигурѣ влѣво, перешелъ на правую сторону, то каналъ *hgf* крана займетъ такое положеніе, при которомъ онъ будетъ прикасаться къ *pc*, а каналъ *edc* примкнетъ къ *mf*, такъ что когда поршень въ *A* опускается, а въ *B* поднимается, воздухъ изъ подъ колокола переходитъ въ *B*, а воздухъ находящійся въ *A* вытѣсняется наружу.

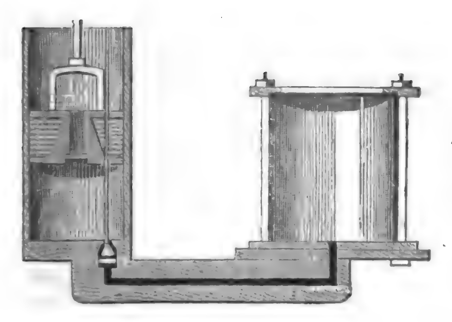
Когда при положеніи крана, означенномъ на фигурѣ, поршень цилиндра *B* достигнетъ предѣла своего опусканія, то въ каналѣ *mf* и въ неизбѣжномъ промежуточномъ пространствѣ подъ поршнемъ долженъ находиться воздухъ равный по упругости атмосферѣ. Если же послѣ того повернуть винтъ на 180°, то этотъ воздухъ перейдетъ подъ колоколъ и взойдетъ въ сообщеніе съ имѣющимся тамъ разрѣженнымъ воздухомъ. Понятно, что при этомъ воздухъ, остающійся во вредномъ пространствѣ, препятствуетъ къ разрѣженію воздуха подъ колоколомъ но достиженіи предѣла разрѣженія.

Неудобство это устраняется присутствіемъ канала *a*. Если кранъ изъ положенія означеннаго на фигурѣ сдѣлаетъ $1/4$ оборота, то каналъ *a* расположится горизонтально и будетъ сообщать между собою отверстія *f* и *c*, такъ что въ этомъ случаѣ оба цилиндра будутъ находиться въ соединеніи между собою. Воздухъ запертый въ *mf* будетъ теперь распространяться чрезъ *a* до цилиндра *A*, заключающаго разрѣженный воздухъ; поэтому во вредномъ пространствѣ *mf* будетъ оставаться уже только разрѣженный воздухъ.

Что же касается до многочисленныхъ примѣненій насоса, то мы имѣли уже случай неоднократно видѣть, какую пользу онъ оказываетъ при изслѣдованіи различныхъ физическихъ явленій.

§ 180. Воздушный насосъ можетъ быть также приспособленъ къ *сгущенію* воздуха (фиг. 610), если только клапаны его будутъ обращены въ противоположную сторону. И въ самомъ дѣлѣ, въ этомъ случаѣ, съ опусканіемъ поршня, воздухъ долженъ сгущаться и переходить подъ колоколъ; когда же поршень поднимается, то внѣшній воздухъ открываетъ клапанъ его и проходитъ въ цилиндръ, между тѣмъ какъ сгущенный воздухъ подъ колоколомъ закрываетъ нижнее отверстіе цилиндра. Вторичное опусканіе поршня открываетъ снова отверстіе основанія и запираетъ клапанъ поршня, такъ что при этомъ опусканіи вгоняетъ подъ поршень новое количество воздуха и т. д. Сгущенный насосъ.

Фиг. 610.



Укороченный барометръ, посредствомъ котораго опредѣляется мѣра сгущенія воздуха подъ колоколомъ состоитъ изъ наполненной воздухомъ прямой стеклянной трубки закрытой сверху. Открытый же конецъ нижней части трубки опускается въ чашечку, наполненную ртутью. Передъ началомъ сгущенія воздухъ въ трубкѣ претерпѣваетъ давленіе атмосферы, при чемъ какъ въ трубкѣ, такъ и въ чашечкѣ, воздухъ находится на одной высотѣ. Чѣмъ болѣе увеличивается сгущеніе, тѣмъ значительнѣе поднимается ртуть въ трубкѣ. По высотѣ ртутнаго столба и по сжатію воздуха въ трубкѣ легко уже судить и о степени сгущенія воздуха подъ колоколомъ.

Въ сгущающемъ насосѣ колоколъ долженъ быть привинченъ къ тарелкѣ, потому что въ противномъ случаѣ сгущенный воздухъ можетъ поднимать его.

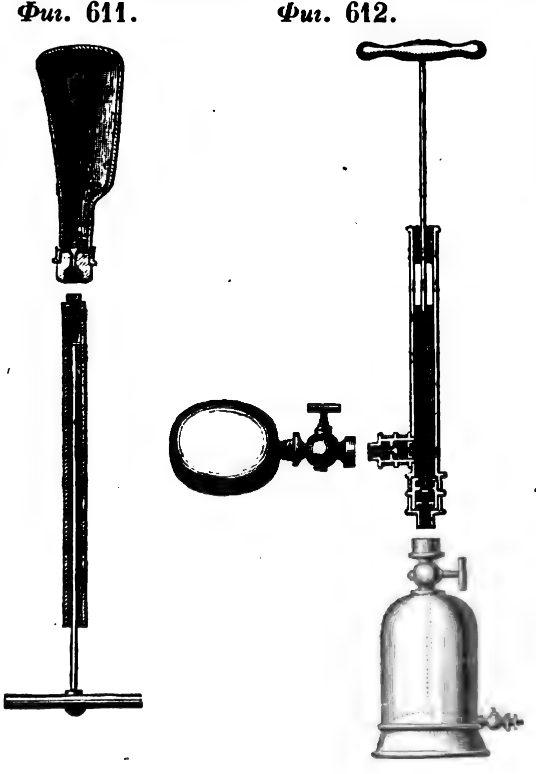
Но и въ этомъ насосѣ, какъ и въ обыкновенномъ, существуетъ подъ клапаномъ поршня при совершенномъ опусканіи его вредное пространство. Воздухъ, находящійся въ этомъ пространствѣ, сообщается съ воздухомъ сгущаемымъ въ колоколѣ; понятно, что оба эти количества воздуха, по сообщеніи своемъ, принимаютъ одинаковую упругость. Когда же плотность воздуха во вредномъ пространствѣ возрастаетъ до такой степени, что онъ при распространеніи своемъ въ цилиндрѣ, имѣетъ плотность равную наружному воздуху, то послѣдній не въ состояніи уже проникать въ цилиндръ и въ такомъ случаѣ сгущеніе достигаетъ предѣла.

Кромѣ того, предѣлъ сгущенія зависитъ также и отъ отношенія, существующаго между двумя объемами воздуха, которые заключаются подъ поршнемъ въ то время, когда онъ находится въ верхней и въ нижней части цилиндра. Если второй объемъ составляетъ, напримѣръ 60-ю часть отъ перваго объема, то мы не въ состояніи будемъ сгустить воздухъ болѣе 60 атмосферъ, потому что за этимъ предѣломъ упругость воздуха въ колоколѣ будетъ болѣе противу

упругости воздуха въ цилиндрѣ, въ которомъ движется поршень, и тогда нижній клапанъ цилиндра не въ состояніи будетъ отворяться, для доставленія прохода новому количеству воздуха.

Сгущеніе воздуха можно производить также посредствомъ болѣе простыхъ приборовъ, представленныхъ на фиг.611-й и 612-й.

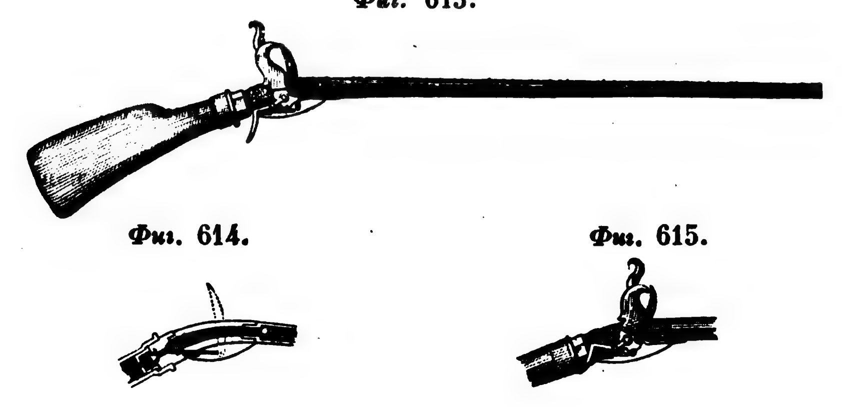
Фиг. 611. *Фиг.* 612.



Въ этихъ приборахъ снарядъ, въ которомъ желаютъ сгустить воздухъ, привинчивается къ насосу. Самые насосы состоятъ изъ цилиндра и поршня безъ клапана. Къ одному концу цилиндра привинчивается резервуаръ, назначаемый для сгущенія воздуха; въ этомъ резервуарѣ находится клапанъ, позволяющій воздуху проникать во внутренность резервуара, но непозволяющій ему выходить обратно. Для втягиванія въ цилиндръ свѣжаго воздуха, въ замѣнъ того, который перешелъ изъ цилиндра въ резервуаръ, придѣлываютъ къ цилиндру или боковое отверстіе, или боковой клапанъ (фиг. 612). Послѣднее устройство наиболѣе употребительно въ томъ случаѣ, когда желаютъ сгустить извѣстный газъ, потому что тогда соединяютъ приборъ заключающій газъ съ боковымъ клапаномъ посредствомъ трубки.

Воздушное ружье. Первый изъ этихъ сгущающихъ насосовъ употребляется преимущественно для заряженія такъ называемыхъ *воздушныхъ ружей*, устройство которыхъ основано на расширеніи сгущеннаго воздуха. Воздушное ружье, представленное на фиг. 613-й, состоитъ изъ пустаго приклада или воздушной камеры, привинчивающейся къ концу ствола, отъ котораго она отдѣляется клапаномъ.

Фиг. 613.

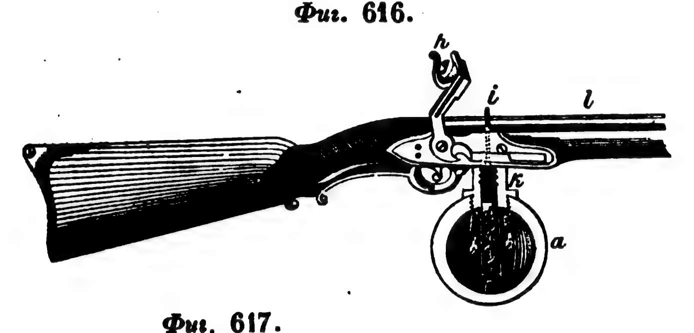


Фиг. 614. *Фиг.* 615.

Клапанъ этотъ открывается въ томъ случаѣ, когда желаютъ выстрѣлить изъ ружья. Воздухъ сжимается въ камерѣ отъ 8 до 10 атмосферъ посредствомъ сгущающаго насоса. Послѣ того привинчиваютъ къ камерѣ дуло, дающее направленіе полету пули; когда, при помощи особеннаго шпинька, открываютъ клапанъ запирающій камеру, то заключающійся въ ней воздухъ сообщаетъ быстрый ударъ пулѣ. Самый шпинекъ приводится въ движеніе посредствомъ замка, устраиваемаго на подобіе обыкновенныхъ ружейныхъ замковъ. Устройство ихъ легко объяснить себѣ изъ фигуръ 614-й и 615-й. Къ клапану придѣлана пружина, которая по удаленіи шпинька приводитъ тотчасъ клапанъ въ первоначальное положеніе, т. е. заставляетъ его снова запирать камеру. Какъ камера при каждомъ выстрѣлѣ остается открытою только на весьма незначительное время, то заключающійся въ ней воздухъ не успѣваетъ выходить весь за разъ; чрезъ что однимъ и тѣмъ же зарядомъ можно сдѣлать нѣсколько выстрѣловъ. Понятно впрочемъ, что сила, съ которою выбрасывается пуля, должна становиться слабѣе послѣ каждаго выстрѣла.

Воздушнымъ ружьямъ даютъ также устройство, представленное на фиг. 616-й.

Фиг. 616.



Зaряженіе этихъ ружей состоитъ въ сгущеніи воздуха въ шарѣ *a*, который привинчивается у *k* къ стволу ружья *l*, дающему направленіе полету пули. Спущенный курокъ *h* ударяетъ на стержень *i* поршня *d*, запирающаго сгущенный въ шарѣ воздухъ, посредствомъ нажимающей пружины *c*. По открытіи поршнемъ отверстія *a*, выходитъ изъ послѣдняго быстро часть сгущеннаго воздуха и доставляетъ пулѣ полетъ, одинаковый съ полетомъ пули, пущенной силою воспламененнаго пороховаго заряда.

Фиг. 617.

Сгущающій насосъ употребляется также для насыщенія воды различными газами. Въ такомъ случаѣ употребляютъ насосъ, представленный на фиг. 617-й. Онъ состоитъ изъ плотнаго мѣднаго сосуда, имѣющаго на фигурѣ видъ колокола. Къ этому сосуду привинчивается цилиндръ, который на фигурѣ представленъ отдѣльно надъ колоколомъ. Цилиндръ этотъ снабженъ поршнемъ и двумя клапанами, устройство которыхъ объяснено нами выше. Насыщеніе воды газами.

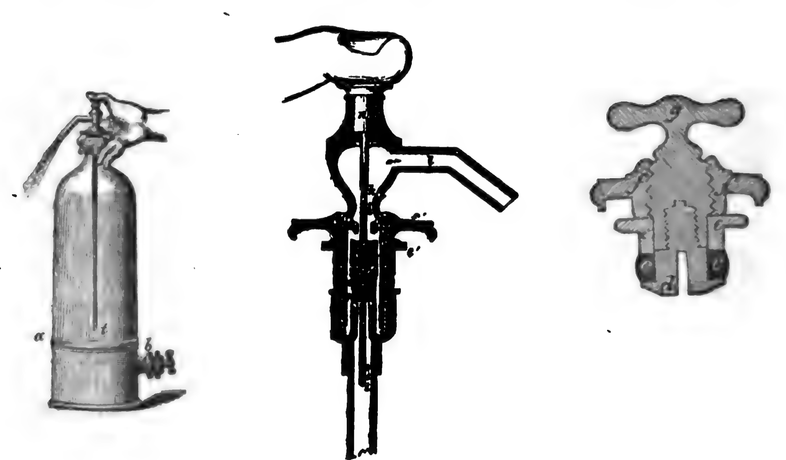
Внутри сосуда проходитъ открытая съ обоихъ концовъ трубка, нижняя часть которой проходитъ до самаго дна сосуда. Трубка эта представлена на фиг. точками.

По наполненіи сосуда водою до извѣстной высоты, открываютъ кранъ въ верхней части сосуда и начинаютъ дѣйствовать поршнемъ въ цилиндрѣ, или въ томъ случаѣ, когда желаютъ вогнать въ сосудъ сгущенный воздухъ. —

Если же хотятъ наполнить сосудъ газомъ, то сообщаютъ боковое отверстіе цилиндра посредствомъ трубки съ тѣмъ резервуаромъ, въ которомъ находится газъ. На фигурѣ 617-й представленъ съ боку цилиндра особый сосудъ съ краномъ: если газъ заключается въ этомъ сосудѣ, то привинчиваютъ шейку сосуда къ боковому отверстію цилиндра. Вгоняемый въ нижній сосудъ воздухъ или газъ проходитъ чрезъ трубку, означенную точками и собирается надъ поверхностію воды, производя на нее извѣстное давленіе. Послѣ того запираютъ сосудъ поворотомъ верхняго крана, отвинчиваютъ цилиндръ и приставляютъ къ верхнему отверстію трубки, проведенной на фигурѣ точками, или изогнутую трубку, или кранъ, обыкновенно употребляемый для стока воды изъ сосудовъ. По открытіи крана, находящагося въ верхней части сосуда, вода, побуждаемая давленіемъ газа, выходитъ тотчасъ наружу.

На этихъ началахъ основано устройство приборовъ, посредствомъ которыхъ приготовляютъ зерцельскую и другія минеральныя воды. На фиг. 618-й представленъ одинъ изъ такихъ приборовъ, устройство которыхъ, оставаясь неизмѣннымъ въ главныхъ основаніяхъ, весьма разнообразно относительно расположенія отдѣльныхъ частей. Приборъ этотъ дѣлается изъ стекла или глины; онъ состоитъ собственно изъ двухъ частей: верхней и нижней, раздѣленныхъ между собою перегородкой *a*, въ которой продѣлано нѣсколько отверстій. Предварительно отвинчивается верхній кранъ и въ сосудъ наливается вода, такъ чтобы подъ горломъ его оставалось свободное пространство. Потомъ завинчиваютъ верхній и отвинчиваютъ нижній кранъ *b*, представленный отдѣльно на фиг. 620. Переворачиваютъ сосудъ и въ нижнюю часть его насыпаютъ

Фиг. 618. *Фиг.* 619. *Фиг.* 620.



чрезъ воронку истертыя въ порошокъ тѣла, составъ которыхъ зависитъ отъ того газа, которымъ желаютъ насытить воду, послѣ того наливаютъ въ нижнюю часть сосуда около полустакана воды, быстро запираютъ кранъ *b* и переворачиваютъ снова сосудъ. Образующійся газъ проникаетъ чрезъ отверстія перегородки *a* въ верхнюю часть сосуда и насыщаетъ тамъ воду. По насыщеніи воды отдѣлившимся газомъ, остальная часть послѣдняго собирается у самаго горла сосуда непосредственно подъ краномъ. Какъ пространство, занимаемое имъ, весьма незначительно сравнительно съ количествомъ его, то очевидно, что вслѣдствіе того увеличивается его упругость. Внутреннее устройство верхняго крана представлено на фиг. 619-й. Внутри этого крана находится поршень *m*, который, при помощи непосредственно подъ нимъ лежащей пружины *e*, постоянно запираетъ верхнее отверстіе. Если надавить на этотъ поршень пальцемъ, то отверстіе открывается тотчасъ. Противу поршня, въ среднемъ отверстіи крана, вдѣлывается стеклянная трубка *t*, доходящая почти до перего-

родки *a* (фиг. 618). Газъ, находящійся непосредственно подъ краномъ, производитъ постоянное давленіе на поверхность воды и если открыть отверстіе, приходящееся противу трубки *t*, то вслѣдствіе упругости, пріобрѣтенной газомъ отъ сгущенія, онъ получаетъ возможность преодолѣть давленіе атмосферы, дѣйствующее на воду чрезъ отверстіе крана, и потому заставляетъ воду подниматься по трубкѣ *t* и выливаться наружу изъ сосуда.

Перейдемъ теперь къ различнымъ измѣненіямъ, основаннымъ на *упругости* и *на давленіи воздуха*.

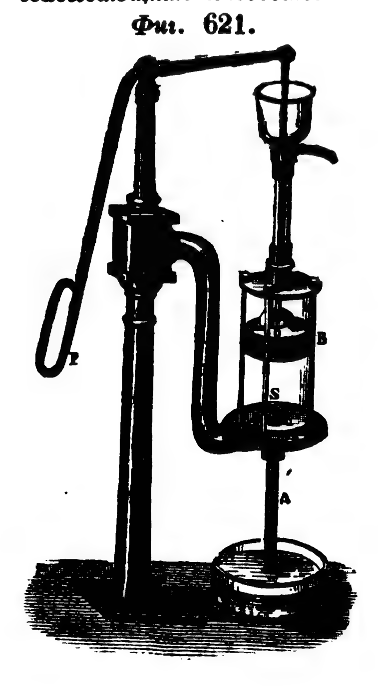
§ 181 На расширеніи воздуха и на образованіи безвоздушнаго пространства основаны нѣкоторыя явленія; какъ наприм. *дыханіе*, *всасываніе*, и многіе весьма важные приборы: наприм. *всасывающій насосъ*, и др. Явленія и приборы основанные на давл. воздуха и образован. безвозд. простр.

1) Когда мы уширяемъ, при помощи особенныхъ мускуловъ, пространство, занимаемое грудною полостью, то находящійся въ ней воздухъ разрѣживается, и вслѣдствіе того атмосферный воздухъ входитъ въ грудь, производя *дыханіе*. Если же, напротивъ того, отъ сжатія грудной полости, находящійся въ ней воздухъ сдавливается, то онъ выходитъ прочь, производя *выдыханіе*.

Когда мы погрузимъ въ воду одинъ конецъ стеклянной трубки или соломенки и, съ помощію всасыванія съ другаго конца, разрѣдимъ въ ней воздухъ, то отъ давленія воздуха снаружи вода въ трубкѣ поднимется. Подобное жъ явленіе представляетъ и куреніе табаку.

2) Тотъ же самый процессъ всасыванія можно производить, вмѣсто рта, особеннымъ приборомъ, который называется *помпою* или *всасывающимъ насосомъ*. Всасывающій насосъ.

Фиг. 621.



Мы объяснимъ сперва устройство всасывающаго насоса на модели, представленной на фиг. 621. Насосъ этотъ состоитъ изъ трехъ главныхъ частей: 1) изъ *цилиндра B*, въ нижней части котораго находится клапанъ *S*, отворяющійся снизу вверхъ; 2) изъ *всасывающей трубки A*, погружающейся въ тотъ резервуаръ, изъ котораго желаютъ поднять воду; 3) изъ клапана, двигающагося въ цилиндрѣ кверху и книзу посредствомъ стержня и рукоятки *P*; поршень этотъ снабженъ отверстіемъ, которое закрывается клапаномъ *O*, отворяющимся снизу вверхъ.

Если поднимать поршень отъ основанія цилиндра кверху, то незначительное количество воздуха, заключающееся подъ поршнемъ, будетъ распространяться въ пустотѣ, образующейся отъ поднятія

поршня; понятно, что при этомъ движеніи поршня клапанъ *O*, на который дѣйствуетъ сверху давленіе атмосферы, будетъ закрытъ. Что же происходитъ во всасывающей трубкѣ *r*? Какъ заключающійся въ ней воздухъ имѣетъ большую плотность противу разрѣженнаго воздуха, находящагося надъ клапаномъ *S*, то очевидно, что послѣдній будетъ открытъ упругостію воздуха трубки *A*. По открытіи клапана воздухъ этотъ устремится въ часть цилиндра между дномъ его и основаніемъ поднимающагося поршня. Поэтому во всасывающей трубкѣ происходитъ разрѣженіе воздуха, а слѣдовательно и уменьшеніе его упругости. Это разрѣженіе даетъ возможность давленію наружнаго воздуха, дѣйствующаго непосредственно на поверхность воды, пріобрѣтать перевѣсъ надъ упругостію воздуха въ трубкѣ *A*. Вслѣдствіе того наружный воздухъ вгоняетъ воду въ эту трубку и вода поднимается въ ней до тѣхъ поръ, пока давленіе поднятаго столба жидкости вмѣстѣ съ упругостію находящагося надъ нимъ разрѣженнаго воздуха въ трубкѣ *A* не придетъ въ равновѣсіе съ давленіемъ атмосферы, дѣйствующимъ непосредственно на поверхность воды въ резервуарѣ.

При опусканіи поршня воздухъ, перешедшій изъ всасывающей трубки въ цилиндръ, начинаетъ тотчасъ сгущаться и запираетъ клапанъ *S*; вслѣдствіе постоянно увеличивающейся упругости сжимаемаго воздуха отворяется клапанъ *o* и находившійся подъ поршнемъ воздухъ переходитъ въ верхнюю часть цилиндра, откуда посредствомъ особенной трубки выходитъ наружу. При второмъ поднятіи поршня повторяются тѣже самыя явленія: вода поднимается выше во всасывающей трубкѣ и наконецъ послѣ нѣсколькихъ движеній поршня переходитъ въ цилиндръ. Начиная съ этого момента измѣняется дѣйствіе, производимое движеніями поршня. Давленіе, производимое на воду опускающимся поршнемъ, заставляетъ ее запирать клапанъ *S* и отворять клапанъ *O*, чрезъ который она устремляется въ верхнюю часть цилиндра надъ поршнемъ при дальнѣйшемъ движеніи послѣдняго книзу. При этомъ поднятіи воды кверху подъ поршнемъ не заключается уже воздуху и потому атмосферный воздухъ, дѣйствующій непосредственно на поверхность воды, заставляетъ ее постоянно подниматься кверху и собираться надъ поршнемъ въ верхней части цилиндра. При поднятіи поршня кверху, вода, собранная въ верхней части цилиндра, вгоняется имъ въ верхній резервуаръ. Резервуаръ этотъ пополняется постоянно водою при движеніяхъ поршня, вслѣдствіе давленія атмосфернаго воздуха на поверхность воды, находящейся въ резервуарѣ. Что же касается до высоты, на которую можетъ быть поднята вода посредствомъ всасывающаго насоса, то она не можетъ быть совершенно произвольна, отчасти уже и потому, что давленіе воздуха не позволяетъ поднимать воду выше 32 фут. Мы уже знаемъ, что давленіе это удерживаетъ въ равновѣсіи ртутный столбъ высотою въ 30 дюймовъ. Такъ какъ плотность воды почти въ 13 разъ менѣе плотности ртути, то очевидно, что водяной столбъ долженъ имѣть высоту 13×30 дюймовъ, для того чтобы

удерживать въ равновѣсіи давленіе 30 дюймоваго ртутнаго столба, соотвѣтствующаго давленію атмосферы въ 13×30 или 390 дюйм., что составляетъ 32 фута. Вотъ почему первый клапанъ не можетъ лежать выше 32 фут. надъ поверхностію воды въ нижнемъ резервуарѣ.

Кромѣ того должно замѣтить, что въ практикѣ поршень никогда не прикасается въ точности къ основанію цилиндра, такъ что при самомъ низкомъ положеніи поршня всегда находится подъ нимъ такъ называемое вредное пространство, наполненное воздухомъ, котораго упругость равна упругости атмосферы. Положимъ, что это вредное пространство равно $\frac{1}{30}$ объема цилиндра. Воздухъ, заключающійся во вредномъ пространствѣ, расширяется по мѣрѣ поднятія поршня и, если послѣдній достигнетъ высшей точки своего поднятія, упругость воздуха остающагося въ цилиндрѣ, вслѣдствіе маріотова закона, должна быть равна $\frac{1}{30}$ части давленія атмосферы. Поэтому воздухъ во всасывающей трубкѣ не можетъ быть разрѣженъ болѣе за этимъ предѣломъ и поэтому вода, въ разсматриваемомъ нами случаѣ, не можетъ быть поднята болѣе высоты равной $\frac{29}{30}$ частямъ 30 фут. т. е. 29 ф. Но и эта высота еще слишкомъ велика, потому что вода должна подняться немного выше клапана S. Слѣдовательно всасывающая трубка не должна быть собственно выше 28 фут.

На основаніи изложеннаго нами вода поднимается во всасывающую трубку дѣйствіемъ атмосфернаго давленія и полученная чрезъ то высота воды не можетъ, какъ мы видѣли, превосходить 28 или 29 фут. Но если вода поднялась надъ поршнемъ, то дальнѣйшее поднятіе ея, равно какъ и высота, на которую она можетъ быть поднята, зависятъ отъ силы поднимающей поршень.

Для опредѣленія того усилія, съ которымъ долженъ быть поднимаемъ поршень, необходимо обратить вниманіе на давленіе, претерпѣваемое каждою единицею поверхности верхней и нижней частей поршня. Означивъ чрезъ B давленіе воздуха, чрезъ h — высоту водянаго столба отъ уровня воды въ резервуарѣ до поршня и чрезъ s — удѣльный вѣсъ воды, получимъ, что давленіе, поднимающее каждую единицу поверхности нижней части поршня, равно $B - hs$. На верхнюю часть поршня дѣйствуетъ книзу давленіе всего лежащаго надъ нимъ водянаго столба, котораго высота, положимъ, равна h'; къ послѣднему давленію должно еще присовокупить давленіе внѣшней атмосферы, дѣйствующей на верхнюю часть водянаго столба, такъ что на каждую единицу поверхности верхней части поршня давитъ $B + h's$. Если изъ этого давленія вычесть прежнее, т. е. давленіе, которое поднимаетъ поршень кверху, то остальное давленіе, дѣйствующее на каждую единицу поверхности верхней части поршня, будетъ $hs + h's = (h + h')s$. Полученный результатъ, по умноженіи на величину поверхности поршня, дастъ намъ то давленіе, которое должно преодолѣвать при поднятіи поршня, независимо отъ тренія, обнаруживаемаго имъ объ стѣнки цилиндра. *Давленіе это*, какъ показываетъ полученный выводъ, *равно вѣсу водянаго столба, имѣющаго основаніемъ поверхность поршня и высотою — отвѣсное разстояніе вершины поднятаго столба отъ уровня воды въ нижнемъ резервуарѣ.* При движеніи поршня книзу, должно только преодолѣвать сопротивленіе, представляемое треніемъ, потому что поршень погруженъ тогда въ воду, которая проходитъ безпрепятственно чрезъ открытый клапанъ его.

Мы разсмотрѣли основанія всасывающаго насоса на модели, которая въ сущности заключаетъ тѣже части, какъ и насосы, устраиваемые на самомъ дѣлѣ.



На фигурахъ 622-й и 623-й представлены два всасывающіе насоса. Водохранилище *A* (фиг. 622), обыкновенно располагается въ землѣ въ видѣ систерны, въ которой устраивается всасывающая труба *B*, запирающаяся сверху клапаномъ *c*. Надъ трубою находится цилиндръ *D*, вмѣстѣ съ боковою трубкою *E* для стока воды поднятой надъ поршнемъ. Въ цилиндрѣ, посредствомъ стержня *F*, движется просверленный по срединѣ поршень съ клапаномъ *H*. Значеніе частей фигуры 623-й, можетъ быть легко объяснено изъ сравненія съ предшествовавшею фигурою.

Фиг. 622. *Фиг.* 623. *Фиг.* 624.

При разсмотрѣніи основаній всасывающаго насоса мы видѣли, что нижній клапанъ не можетъ лежать выше 28 или 29 фут. надъ поверхностію воды въ резервуарѣ.

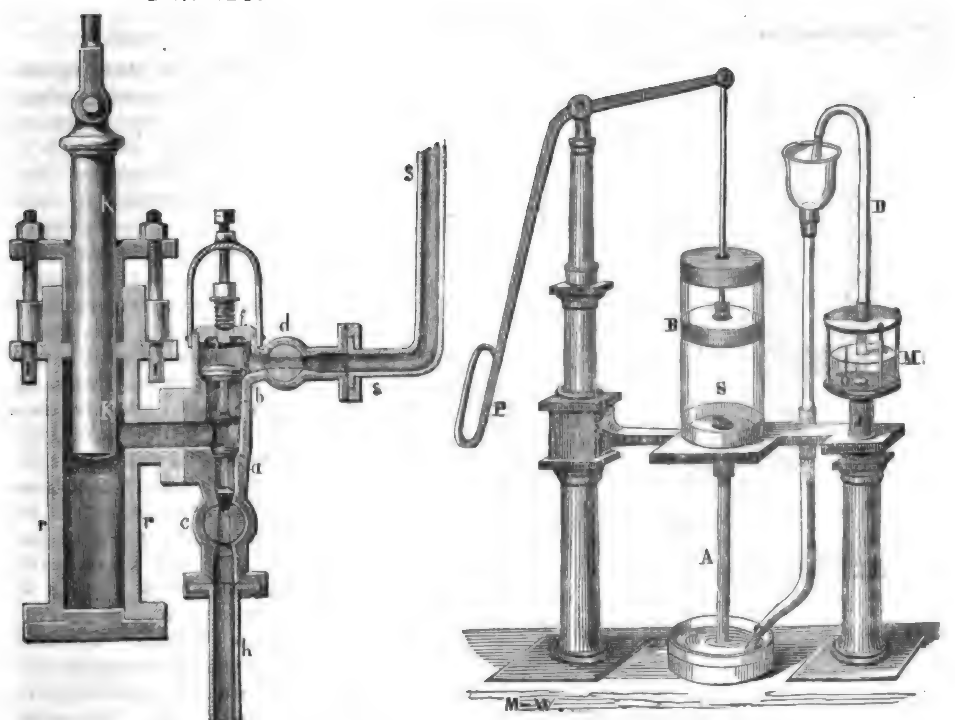
Поэтому, если требуется выкачивать воду изъ значительной глубины или поднимать ее на значительную высоту, то прибѣгаютъ къ помощи *нагнетательнаго насоса* (фиг. 624). Послѣдній отличается отъ обыкновенной помпы тѣмъ, что у самаго основанія своего онъ соединяется съ *восходящею трубою S*, идущею кверху и снабженною клапаномъ *l*, замѣняющимъ въ этомъ случаѣ клапанъ поршня *p*. При поднятіи поршня *p* вода входитъ чрезъ клапанъ *r* въ поршневую трубу *S*. Если послѣ того опустить поршень *p* книзу, то кла-

панъ r запрется, и находящаяся надъ нимъ вода, при дальнѣйшемъ опусканіи поршня, поднимется по восходящей трубѣ S и отворитъ клапанъ l, для восхожденія своего кверху.

Значеніе частей фиг. 625-й, представляющей также нагнетательный насосъ, легко можетъ быть объяснено изъ сравненія соотвѣтственныхъ частей фиг. 624-й.

Разсмотримъ теперь, какую силу должно прилагать къ поршню для поднятія воды. Какъ надъ поршнемъ не находится воды, то при поднятіи его должно преодолѣть только давленіе воздуха B; для преодолѣнія послѣдняго силѣ, дѣйствующей на поршень, помогаетъ сила $B—hs$, точно также какъ и во всасывающемъ насосѣ. Поэтому должно только поднимать вѣсъ водянаго столба, имѣющаго основаніемъ поверхность поршня, а высотою отвѣсное разстояніе вершины этого столба отъ уровня воды въ резервуарѣ. При опусканіи поршня потребна сила, необходимая для поднятія водянаго столба по восходящей трубѣ.

Фиг. 625. Фиг. 626.



Фиг. 626-я представляетъ намъ модель, въ которой соединены какъ всасывающій, такъ и нагнетательный насосы. Въ основаніи цилиндра, надъ вершиною всасывающей трубки, находится клапанъ s, отпирающійся снизу вверхъ. Другой клапанъ o, отпирающійся въ туже сторону, закрываетъ отверстіе изогнутой трубки, которая идетъ отъ клапана s, подъ чугунной доскою a, и оканчивается въ сосудѣ M, называемомъ *резервуаромъ воздуха*.

Изъ этого резервуара выходитъ трубка D, назначаемая для поднятія воды на высоту болѣе или менѣе значительную.

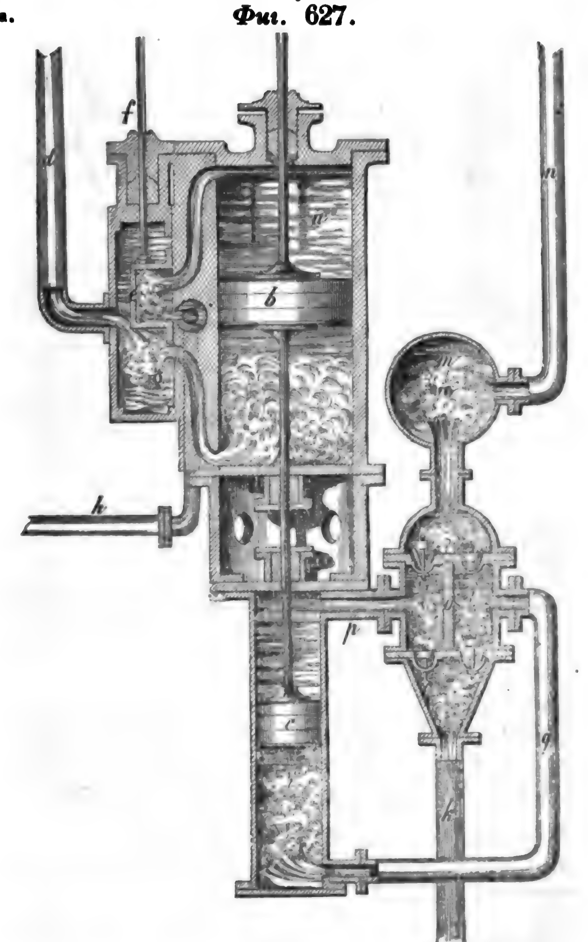
При каждомъ поднятіи поршня B, вода поднимается по восходящей трубкѣ A и проникаетъ наконецъ въ лежащій надъ нею цилиндръ. Съ опусканіемъ поршня притворяется клапанъ s и сдавливаемая вода проходитъ по изогнутой трубкѣ, лежащей подъ доскою a, до клапана o, отворяетъ послѣдній, на-

полняетъ резервуаръ *M* и поднимается по трубкѣ *D*. Высота, до которой она можетъ достигнуть въ этой трубкѣ, зависитъ отъ силы, дѣйствующей на поршень.

Если бы трубка *D* составляла непосредственное продолженіе трубки *S*, то истеченіе воды изъ *D* не было бы постоянно; оно происходило бы только во время опусканія поршня и прерывалось бы при поднятіи послѣдняго. Непрерывность истеченія достигается при помощи воздуха, заключеннаго въ резервуарѣ *M*. И въ самомъ дѣлѣ, вода, достигшая до резервуара *M*, раздѣляется здѣсь на двѣ части, изъ которыхъ одна, поднимающаяся по трубкѣ *D*, сдавливаетъ воду, остающуюся въ резервуарѣ. Послѣдняя, вслѣдствіе этого давленія, поднимается въ резервуарѣ надъ нижнимъ отверстіемъ трубки *D*; понятно, что при этомъ поднятіи долженъ сжиматься воздухъ, находящійся надъ водою. Слѣдовательно при восхожденіи поршня, когда онъ не участвуетъ въ поднятіи воды, находящійся въ резервуарѣ сгущенный воздухъ давитъ на воду и вгоняетъ ее въ трубку *D* до тѣхъ поръ, пока поршень не начнетъ опускаться книзу. Такимъ образомъ поддерживается постоянное истеченіе изъ трубки *D*.

Водостолбная машина. На одникъ началахъ съ описанными нами приборами, основано устройство *водостолбной машины*, служащей также для поднятія воды (фиг. 627).

Фиг. 627.



Для этого воду проводятъ изъ какого нибудь бассейна посредствомъ трубы *d* въ цилиндръ *g*. Здѣсь съ помощію особаго механизма то поднимаютъ, то опускаютъ *золотникъ e*, чрезъ что попеременно открываются оба отверстія праваго цилиндра *g* и вода имѣетъ возможность дѣйствовать поперемѣнно на каждую изъ сторонъ поршня *b*. Когда вода дѣйствуетъ на нижнюю сторону поршня *b* и поднимаетъ его кверху, то съ противуположной стороны его она выливается прочь чрезъ трубку *h*. Съ поршнемъ *b* соединенъ другой меньшій поршень *c*, который опускается и поднимается вмѣстѣ съ большимъ поршнемъ *b*. Когда *c* поднимается, то въ *l* образуется безвоздушное пространство, вслѣдствіе чего открывается нижній клапанъ и вода поднимается въ *l* изъ помпы *k*. При дальнѣйшемъ поднятіи вода проходитъ въ лѣвый резервуаръ, отдѣленный отъ *l* сплошною перегородкой *o*, запираетъ тамъ нижній клапанъ и открываетъ верхній, поднятіе котораго позволяетъ ей входить въ общій резервуаръ *m*. При опусканіи

поршня *e* закрываются клапаны, бывшіе открытыми, и на оборотъ, чрезъ что вода проходитъ въ *m* уже изъ резервуара *l*. Такимъ образомъ вода, собранная въ *m*, можетъ быть поднята по трубкѣ *n* на значительную высоту.

Въ Германіи пользуется большою извѣстностію водостолбная машина, устроенная въ Бергтестгаденѣ знаменитымъ механикомъ Рейхенбахомъ по слѣдующему поводу. Баварское правительство встрѣтило необходимость провести соляной разсолъ изъ Бергтестгадена на соловарни Рейхенгаля, въ окрестностяхъ котораго находится много лѣсу, необходимаго для выварки соли. Такъ какъ ближайшій путь изъ Бергтестгадена въ Рейхенгаль пролегаетъ чрезъ Саксонію, которая не позволяла безъ пошлины проводить по своимъ владѣніямъ разсолопроводныя трубы, то баварское правительство, находя пошлины слишкомъ великими, рѣшилось провести разсолъ дальнѣйшимъ путемъ по своимъ владѣніямъ. Вслѣдствіе того было сдѣлано предложеніе Рейхенбаху построить водостолбную машину въ Бергтестгаденѣ, могущую поднимать соляной разсолъ на высоту 160 сажень, съ которой онъ проходилъ бы къ соловарнямъ по трубамъ въ нѣсколько десятковъ верстъ.

Посредствомъ сильнаго сжатія воздуха можно заставить воду устремляться кверху изъ сосуда въ видѣ фонтана; чтобы удостовѣриться въ этомъ явленіи наполняютъ (фиг. 628) водою до половины бутылку и закрываютъ ее пробкою, въ которую плотно вдѣлана стеклянная трубка, доходящая до самаго дна бутылки. Если дуть ртомъ въ трубку, то воздухъ до того сгущается въ бутылкѣ, что выгоняетъ изъ нея водяной лучъ тотчасъ по прекращеніи надуванія. Героновъ фонтанъ.

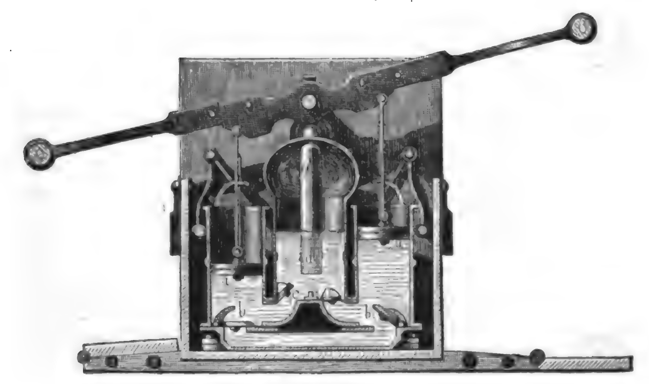
Фиг. 628.



Подобный приборъ, называемый *героновымъ фонтаномъ*, былъ устроенъ впервые около 120 лѣтъ до Р. Хр. Героном въ египетскомъ городѣ Александріи.

На 629-й фигурѣ представлена *пожарная труба*, которая составляетъ соединеніе нагнетательнаго насоса съ героновымъ фонтаномъ. Пожарная труба.

Фиг. 629.



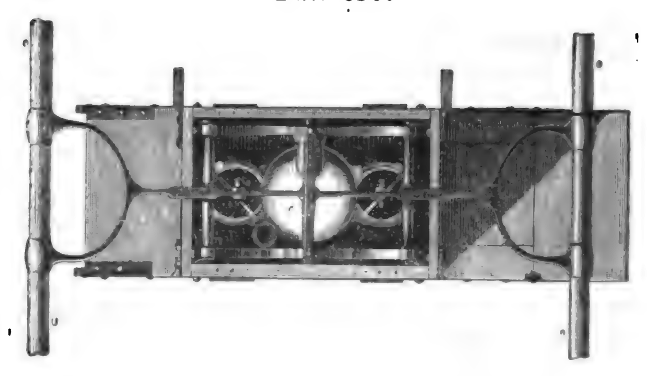
По срединѣ прибора находится сосудъ въ родѣ ванны; въ этомъ сосудѣ находятся два цилиндра съ поршнями *a* и *a* и обращенный дномъ кверху котелъ *e*; сосудъ наполненъ водою. Вмѣстѣ съ поднятіемъ поршней *a* и *a* открываются соотвѣтственные имъ клапаны *b* и *b* и вода проникаетъ въ цилиндры. При опусканіяхъ тѣхъ же самыхъ поршней запираются клапаны *b* и *b*, а отворяются клапаны

c и *c*, и вода вгоняется такимъ образомъ въ котелъ *e*. Котелъ этотъ есть ничто иное какъ большой героновъ шаръ; чѣмъ большее количество воды накачивается въ котелъ, тѣмъ сильнѣе сгущается воздухъ въ верхней части его. Труба *d* достигаетъ почти до самаго дна котла; къ этой трубкѣ привинчивается другая труба съ остроконечнымъ отверстіемъ. Отъ постояннаго давленія, производимаго сжатымъ воздухомъ на воду, заключающуюся въ котлѣ, выбрасывается изъ остроконечнаго отверстія сильный лучъ воды. Къ отверстію котла, которое сдѣлано въ боковой части его близь дна, можетъ быть привинчена кожаная труба съ металлическимъ остроконечнымъ отверстіемъ въ наружной части; труба эта даетъ также лучъ воды, которымъ весьма легко управлять при подвижности трубы.

Поднятіе и опусканіе поршней производится посредствомъ двуплечаго рычага. Къ этому рычагу прикрѣплены стержни поршней такимъ образомъ, что во время опусканія одного поршня поднимается другой, такъ чтобы котелъ непрерывно пополнялся новымъ количествомъ воды.

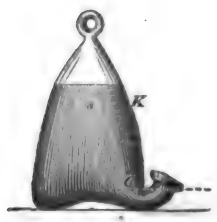
Фиг. 630-я представляетъ пожарную трубу сверху.

Фиг. 630.



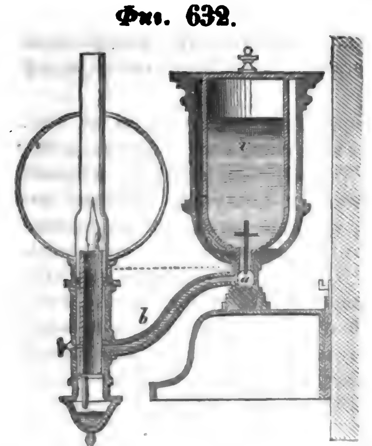
Сосудъ для поенія птицъ. На давленіи воздуха основано устройство сосуда, представленнаго на фиг. 631-й. Воду, находящуюся въ этомъ сосудѣ, берутъ не иначе, какъ каплю по каплѣ. Если поверхность воды опустится нѣсколько ниже сгиба *c*, то шарикъ воздуха проникаетъ въ сосудъ и оттого поверхность опять поднимается; потомъ, когда она опять понижается, то новый пузырекъ воздуха входитъ въ сосудъ и заставляетъ поверхность воды повышаться и это продолжается до тѣхъ поръ, пока поверхность жидкости ея опустится до *c*.

Фиг. 631.



Лампы. На этомъ же началѣ основывается и устройство *кенкетовъ* (фиг. 632) и большей части висячихъ лампъ. Масло находится въ резервуарѣ *v*, оканчивающемся внизу трубкою, снабженною выемкою *a*. Проводникъ *b* соединяетъ резервуаръ съ переднею частью лампы, верхній конецъ которой нѣсколько выше выемки резервуара. Дѣйствіемъ волосности масло поднимается по свѣтильнѣ, по мѣрѣ сгаранія масла поверхность его опускается въ передней части лампы, а слѣдовательно и кругомъ выемки; тогда воздухъ можетъ проникнуть

Фиг. 632.



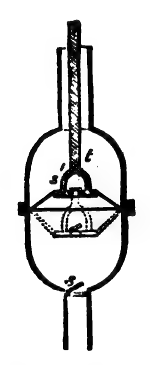
въ резервуаръ и произвести давленіе на масло, которое, выходя изъ резервуара, вновь поднимаетъ поверхность въ свѣтильнѣ и около трубки; когда сгоритъ это новое количество подобно предъидущему, то повторяется тоже явленіе. Трубка вновь освобождается отъ масла; новый пузырекъ воздуха проходитъ въ резервуаръ и вытѣсняетъ оттуда равный объемъ масла. Такимъ образомъ все количество масла переходитъ по каплямъ къ свѣтильнѣ и какъ онѣ слѣдуютъ почти непрерывно другъ за другомъ, то послѣдовательно прибытіе ихъ не обнаруживается пламенемъ.

Это поднятіе пузырьковъ бываетъ видно въ лампахъ, имѣющихъ стеклянный резервуаръ.

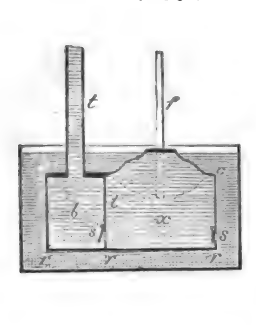
Для наполненія резервуара масломъ, вынимаютъ его и опрокидываютъ; но какъ трубка должна быть достаточно широка для пропуска воздуха, то къ ней придѣлываютъ клапанъ, снабженный стволомъ; этотъ клапанъ и закрываютъ, когда хотятъ перевернуть и поставить на мѣсто резервуаръ; но тогда онъ открывается отъ излишней длины ствола и остается постоянно открытымъ до тѣхъ поръ, пока резервуаръ не будетъ вынутъ снова наружу.

Такъ называемый насосъ священниковъ (фиг. 633) отличается отъ другихъ насосовъ тѣмъ, что въ немъ поршень замѣненъ гибкою тканью. Ткань эта, заключающая металлическій клапанъ s', поднимается и опускается посредствомъ ствола t, похожаго на стволъ обыкновенныхъ поршней. Если съ помощію послѣдняго поднять ткань, то жидкость открываетъ клапанъ s и поднимается кверху. При опусканіи ствола t запирается клапанъ s, а открывается клапанъ s', чрезъ что жидкость можетъ свободно проходить наружу. Насосъ священниковъ.

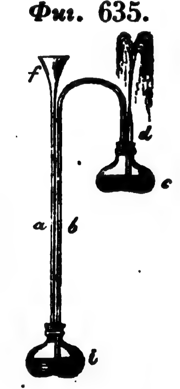
Фиг. 633.



Фиг. 634.



Фиг. 635.



Фигура 634-я представляетъ расположеніе, приданное этому насосу Готтеномъ, въ его механическихъ лампахъ. Ящикъ этихъ насосовъ погружается въ резервуаръ съ масломъ; когда дѣйствіемъ часоваго механизма ткань x поднимается при посредствѣ стержня f, то масло втягивается чрезъ отверстіе клапана s; когда ткань опускается, то послѣдній клапанъ запирается и масло чрезъ отверстіе клапана s' входитъ въ сосудъ b и оттуда поднимается по восходящей трубкѣ t къ свѣтильнѣ. Три насоса такого устройства съ крестовиднымъ движеніемъ даютъ довольно правильное восхожденіе.

На героновомъ фонтанѣ основано устройство *героновыхъ колодцевъ* (фиг. 635), въ которыхъ давленіе сжатаго воздуха заставляетъ воду подниматься кверху лучемъ. Для этого наполняютъ водою болѣе половины сосуда i и запираютъ горло его пробкою, сквозь которую пропускаютъ двѣ трубки b и a.

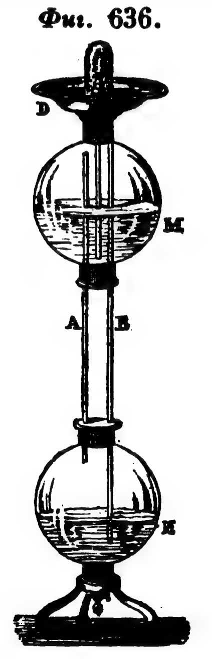
Послѣ того наливаютъ черезъ воронку *f* воду, которая производитъ давленіе на воздухъ, заключающійся въ нижнемъ сосудѣ. Давленіе это, распространяясь на поверхность воды въ *c*, заставляетъ послѣднюю подниматься кверху изъ трубки *d*.

Весьма часто героновымъ колодцамъ даютъ форму, представленную на фиг. 636-й. Приборъ этотъ состоитъ изъ двухъ шаровъ *N* и *M*, сообщающихся между собою посредствомъ трубки *A*. Къ верхнему шару придѣланъ мѣдный сосудъ въ видѣ чашки; сосудъ этотъ соединяется съ нижнимъ шаромъ посредствомъ трубки *B*, а съ верхнимъ короткой трубкой лежащей въ промежуткѣ между *A* и *B*. Короткую трубку вынимаютъ сперва прочь для наполненія водою сосуда *M* до половины его объема. Послѣ того вставляютъ трубку и наливаютъ воду съ чашку; жидкость опускается по трубкѣ *B* въ нижній шаръ и вытѣсняетъ оттуда воздухъ, который проходитъ въ верхній шаръ чрезъ трубку *A*. Сжимаясь въ этомъ шарѣ воздухъ давитъ на воду и заставляетъ ее выходить чрезъ среднюю трубку и бить ключемъ. Безъ сопротивленія воздуха и безъ тренія лучъ воды поднимался бы кверху на высоту равную уровню воды въ обоихъ шарахъ.

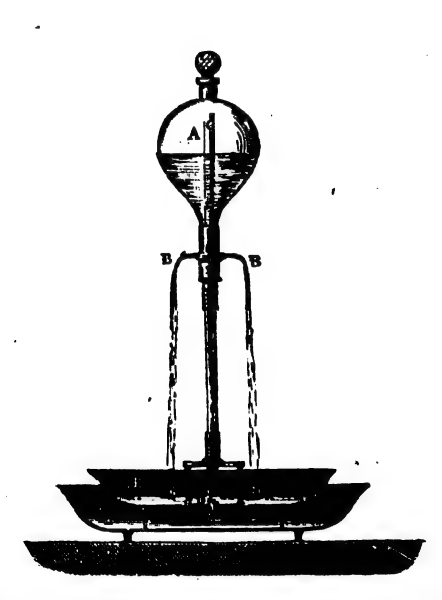
Подобное явленіе встрѣчаемъ мы весьма часто въ природѣ при образованіи естественныхъ фонтановъ, происходящихъ отъ сильнаго давленія воздуха, какъ напр. исландскіе фонтаны, называемые въ Исландіи *гейзерами*, изъ которыхъ вода поднимается столбомъ, имѣющимъ иногда отъ 100 до 200 футовъ въ высоту и отъ 30 до 50 фут. въ діаметрѣ.

На однихъ началахъ съ героновыми колодцами основано устройство гидростатическихъ лампъ Жирара.

Фиг. 636.



Фиг. 637.

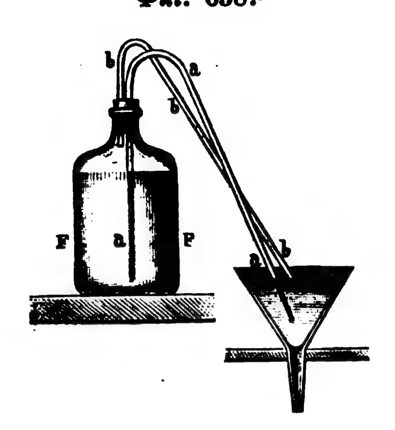


Перемежающійся колодецъ. Такъ называемый *перемежающійся колодецъ* образуется отъ перемѣннаго сгущенія и разрѣженія воздуха. Колодецъ этотъ представленъ на фиг. 637-й. *A* есть сосудъ, заключающій воду, *BB* трубки для стока воды, а *C* трубка поднимающаяся надъ уровнемъ воды въ *A*. Нижній конецъ трубки находится въ сосудѣ *E* и снабженъ вырѣзомъ у точки *D*. Когда отверстіе этого вырѣза открыто, то воздухъ проникаетъ черезъ него въ сосудъ *A* и начинаетъ давить на воду, которая вслѣдствіе того выходитъ изъ боковыхъ трубокъ *BB*.

Вытекающая вода собирается въ чашкѣ *E;* небольшое отверстіе *O,* находящееся на днѣ этой чашки, не выпускаетъ *вдругъ* всего количества воды, прибывшаго въ чашку *E*. Уровень воды мало по малу поднимается и запираетъ наконецъ отверстіе вырѣза у *D*. Воздухъ не имѣетъ тогда возможности проникать въ сосудъ *A,* вслѣдствіе чего вода перестаетъ течь изъ отверстій *BB*. А какъ въ это время въ сосудѣ *E* не прибываетъ болѣе воды, а изъ отверстія *o* происходитъ постоянное истеченіе, то наконецъ откроется отверстіе вырѣза у точки *D* и вода начнетъ снова течь изъ трубокъ *BB*.

На устройствѣ перемежающихся колодцевъ основаны многія практическія примѣненія. Такъ напр. фиг. 638-я представляетъ способъ доставленія постояннаго уровня водѣ, находящейся въ цѣдилкѣ. Вода течетъ по сифону *a* изъ бутылки *F* въ цѣдилку (воронку). Сифонъ этотъ проходитъ чрезъ пробку, затыкающую плотно горло бутылки. Чрезъ пробку проходитъ также другая трубка *b*, оканчивающаяся съ одной стороны тотчасъ по выходѣ изъ трубки, а съ другой въ томъ мѣстѣ, въ которомъ хотятъ имѣть постоянный уровень. Если отверстіе трубки *b* подъ водою, то въ верхнюю часть *F* не можетъ проникать воздуха и вода перестаетъ течь изъ сифона *a*. По выходѣ воды изъ цѣдилки открывается отверстіе *b* и вода выходитъ снова изъ *a* до тѣхъ поръ, пока оконечность трубки *b* не погрузится опять въ воду.

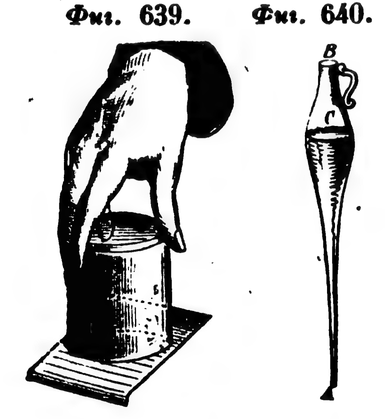
Фиг. 638.



Давленіемъ воздуха объясняются многія явленія, изъ которыхъ мы разсмотримъ только главнѣйшія.

1) Если наполненный водою стаканъ покрыть сверху кускомъ бумаги и опрокинуть его дномъ кверху (фиг. 639), то вода не вытечетъ изъ него, потому что этому будетъ препятствовать давленіе воздуха на нижнюю поверхность бумаги. — Бумага здѣсь препятствуетъ пробираться между стѣнками стакана воздуху, который, въ противномъ случаѣ, по легкости своей, поднялся бы кверху и вытѣснилъ оттуда количество воды, соотвѣтственное занятому имъ объему. Когда же нижнее отверстіе сосуда бываетъ незначительной величины, то жидкость не выльется изъ него при опрокинутіи даже и безъ бумаги, потому что тутъ волосность препятствуетъ воздуху проходить между стѣнками и жидкостію.

Фиг. 639. *Фиг.* 640.



2) Если закрыть верхнее отверстіе бочки, наполненной водою, послѣдняя не польется изъ отверстія даже и тогда, когда мы отворимъ кранъ, потому что въ этомъ случаѣ воздухъ не дѣйствуетъ на верхнюю поверхность воды, между тѣмъ какъ снизу онъ препятствуетъ ей выливаться. Въ крышкахъ чайниковъ и кофейниковъ дѣлаютъ всегда небольшое отверстіе для того, чтобы доставить возможность воздуху дѣйствовать на жидкость сверху и тѣмъ способствовать выливанію ея.

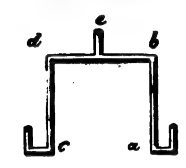
3) На давленіи воздуха основано устройство *ливера*. Послѣдній (фиг. 640), состоитъ изъ трубки, имѣющей на обоихъ своихъ концахъ съуживающіяся Ливеръ.

отверстія. Отъ погруженія его въ жидкость, онъ наполняется ею, чему помогаютъ всасываніемъ, и если только закрыть верхнее его отверстіе пальцемъ, то наполняющая его жидкость не выльется прочь даже и въ томъ случаѣ, когда мы поднимемъ ливеръ на воздухъ, потому что палецъ не позволяетъ воздуху давить сверху.

Сифонъ. Перейдемъ теперь къ устройству *сифона*.

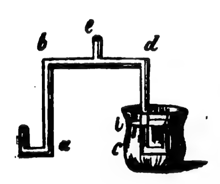
Чтобы объяснить себѣ устройство этого прибора, возмемъ стеклянную трубку *abdc*, изогнутую въ направленіи показанномъ на 641-й фигурѣ. Въ верхней части ея вставляется трубочка *e*, чрезъ которую, по закрытіи пробками загнутыхъ оконечностей *c* и *a*, наливается вода. По наполненіи изогнутой трубки водою, для избѣжанія давленія воздуха сверху, запирается *e* пробкою. Открывъ пробки у *c* и *a*, мы увидимъ, что вода не польется наружу изъ трубки, если высота отвѣсныхъ колѣнъ ея не будетъ болѣе 30 фут. Это потому, что давленіе атмосферы поддерживаетъ водяной столбъ только этой высоты. Давленію воздуха на оба колѣна трубки *dc* и *ba*, очевидно противодѣйствуетъ гидростатическое давленіе воды, заключающейся въ этихъ колѣнахъ. Если оба послѣднія давленія равны, то очевидно, что они должны оказывать одинаково сильное противодѣйствіе одному и тому же давленію воздуха Понятно, что равенство противодѣйствій, оказываемыхъ ими, будетъ зависѣть отъ равенства водяныхъ столбовъ, непосредственно подверженныхъ давленію атмосферы.

Фиг. 641.



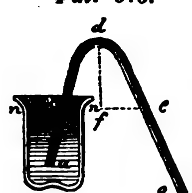
Но если одно колѣно (фиг. 642) погрузить подъ поверхность воды или другой жидкости, то вся изогнутая часть *ic* уравновѣсится давленіемъ жидкости въ сосудѣ, и на остальную часть воды колѣна *cd*, т. е. на столбъ *id* будетъ дѣйствовать давленіе воздуха, давящаго непосредственно на поверхность воды въ сосудѣ. Тоже самое давленіе воздуха дѣйствуетъ и на цѣлое колѣно *ab*. Вслѣдствіе того, въ обоихъ колѣнахъ трубки уже не можетъ быть равновѣсія. Какъ укороченное колѣно *id* противоставляетъ воздуху меньшее сопротивленіе противу длиннаго, то очевидно, что воздухъ долженъ давить сильнѣе на короткое колѣно, нежели на длинное, а потому изъ послѣдняго и польется вода. Выливаніе это будетъ тѣмъ сильнѣе, чѣмъ колѣно *ab* болѣе, и на оборотъ. На объясненномъ нами истеченіи воды изъ длиннаго колѣна изогнутой трубки, основано устройство обыкновеннаго сифона, состоящаго изъ изогнутой трубки *CB*, одно колѣно которой длиннѣе другаго. Если погрузить короткое колѣно *C* въ воду и посредствомъ всасыванія ртомъ наполнить весь сифонъ водою, то послѣдняя будетъ вытекать изъ длиннаго колѣна *B* до тѣхъ поръ, пока не опустѣетъ весь сосудъ.

Фиг. 642.



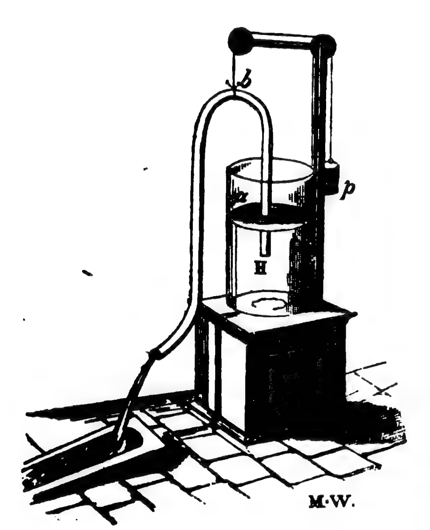
Для болѣе точнаго объясненія дѣйствія сифона, представимъ себѣ, что изогнутая трубка *ado* (фиг. 643), погружена въ воду, и что посредствомъ всасыванія мы наполнили всю трубку водою. У обѣихъ открытыхъ оконечностей трубки *a* и *o*, наружное давленіе воздуха стремится съ одинаковою силою поднимать воду кверху по колѣнамъ трубки; вся разница заключается въ томъ, что въ точкѣ *o* давленіе это дѣйствуетъ непосредственно на отверстіе трубки, между тѣмъ какъ съ противоположной стороны оно дѣйствуетъ сперва книзу на поверхность воды *nn* и отъ послѣдней передается уже кверху, къ отверстію *a* чрезъ всю жидкость сосуда. Давленію этому, которое въ состояніи уравновѣшивать давленіе водянаго столба въ 32 фута высоты, противодѣйствуетъ въ точкѣ *a* давленіе водянаго столба *cd* (потому что часть *ca* поддерживается въ равновѣсіи остальною массою жидкости въ сосудѣ), а въ точкѣ *o* давленіе водянаго столба *do*, имѣющаго большую высоту противу *cd*. Поэтому давленіе воздуха на *o* болѣе уменьшается, нежели давленіе на *a*; вслѣдствіе того послѣднее давленіе пріобрѣтаетъ перевѣсъ надъ первымъ и вода вытѣсняется этимъ избыткомъ давленія отъ *a* черезъ *d* къ отверстію о, изъ котораго уже вытекаетъ наружу.

Фиг. 643.



Что въ этомъ случаѣ истеченіе жидкости изъ длиннаго колѣна происходитъ вслѣдствіе давленія воздуха, можно убѣдиться, помѣстивъ погруженный въ воду сифонъ подъ колоколъ воздушнаго насоса: мы увидимъ, что жидкость не будетъ уже выливаться изъ нижняго конца.

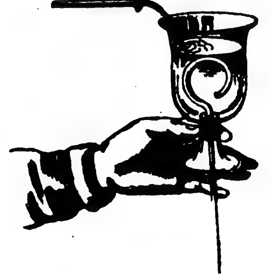
Фиг. 644.



Для полученія постояннаго истеченія воды изъ сифона необходимо, чтобы во все время истеченія было одинаковое различіе между высотами жидкости въ обоихъ колѣнахъ. Для полученія этого придаютъ сифону устройство, показанное на фигурѣ 644-й. Сифонъ удерживается въ равновѣсіи поплавкомъ *a* и гирею *p*, такъ что по мѣрѣ опусканія уровня, въ сосудѣ *H* происходитъ соотвѣтственное опусканіе сифона, и слѣдовательно различіе между высотами *ab* и *bc* остается постояннымъ.

Для полученія перемежающагося истеченія посредствомъ сифона, даютъ ему форму, представленную на фиг. 645-й. Сифонъ этотъ располагается въ сосудѣ такимъ образомъ, чтобы отверстіе короткаго колѣна находилось близь дна, между тѣмъ какъ длинное должно проходить чрезъ дно и выходить наружу. Сосудъ наполняютъ постоянно водою; уровень ея возвышается мало по малу: вслѣдствіе чего, короткое колѣно наполняется водою до самой вершины сифона и жидкость вытекаетъ наружу, какъ видно изъ фигуры. Если убыль воды изъ сифона значительны противу прибыли воды, доставляемой трубкой, проведенной отъ

Фиг. 645.



резервуара, чего можно легко достигнуть на основаніи законовъ истеченія жидкостей чрезъ трубки, то уровень воды въ сосудѣ будетъ мало по малу опускаться и отверстіе короткаго колѣна выйдетъ изъ воды. Тогда въ сифонѣ не будетъ жидкости и истеченіе прекратится. Но какъ сосудъ продолжаетъ наполняться водою, то уровень начнетъ снова подниматься и спустя извѣстное время возобновится описанное нами явленіе.

Въ городахъ при проводѣ воды по различнымъ частямъ города прибѣгаютъ часто къ перемежающемуся истеченію для открытія и запиранія въ опредѣленныя часы тѣхъ крановъ, которыми запираются проводныя трубки. Для этого сосуды, наполняемые постоянною струею воды, опоражниваются по временамъ; вслѣдствіе чего они дѣлаются то тяжелѣе, то легче и дѣйствуютъ съ помощію противувѣсовъ то въ одну, то въ другую сторону на краны трубокъ. Сифонъ, доставляющій перемежающееся теченіе, называютъ *перемежающимся*. Весьма часто называютъ его *волшебнымъ бокаломъ* или *бокаломъ Тантала*.

Посредствомъ сифона удаляютъ изъ сосуда жидкость, надъ поверхностію которой находится другая жидкость легчайшаго удѣльнаго вѣса. Чтобы произвести это удаленіе, несмѣшивая нижней жидкости съ верхнею, достаточно только погрузить въ нижнюю жидкость короткое колѣно сифона.

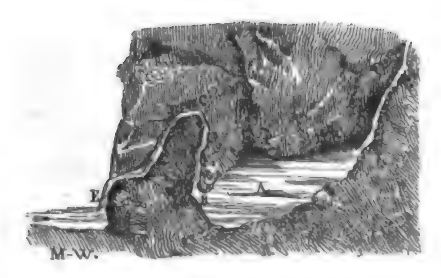
Сифонъ имѣетъ большое примѣненіе въ общежитіи, при переливаніи жидкостей изъ одного сосуда въ другой. Съ помощію сифона можно проводить воду только чрезъ возвышеніе, а не черезъ гору: потому что высота, на которую давленіе воздуха можетъ поднять воду, простирается до 30 съ небольшимъ футовъ. Еслибъ высшая точка сифона отстояла отъ поверхности воды, по отвѣсной линіи, болѣе этого разстоянія, то вода, по наполненіи сифона, полилась бы изъ обоихъ колѣнъ его.

Фиг. 646.

Какъ при всасываніи жидкости, описаннымъ нами способомъ, въ сифонъ, часть ея можетъ попасть въ ротъ,—что при нѣкоторыхъ жидкостяхъ даже вредно,—то для избѣжанія этого неудобства придѣлываютъ къ колѣну *b* (фиг. 646) всасывающую трубку *d*. Для наполненія сифона, въ этомъ случаѣ, затыкаютъ отверстіе *b* пальцемъ и потомъ безопасно всасываютъ чрезъ отверстіе *d* жидкость, которая только тогда начинаетъ вытекать наружу, когда мы отнимемъ палецъ отъ *b*.

Извѣстно, что въ иныхъ мѣстахъ находятся ключи, изъ которыхъ вода вытекаетъ періодически, т. е. по временамъ прекращается истеченіе воды. Явленіе это относятъ также къ дѣйствію перемежающихся сифоновъ и объясняютъ его слѣдующимъ образомъ.

Фиг. 647.



Положимъ, что внутри какой нибудь горы (фиг. 647), находится пустое пространство, въ которое собирается вода, стекающая съ земной поверхности. Если это пространство сообщается съ наружною частію горы посредствомъ отверстія, имѣющаго видъ сифона, короткое колѣно котораго сообщается съ водою, а длинное выходитъ наружу и оканчивается тамъ нѣсколькими рукавами, то понятно, что при наполненіи пустаго пространства водою, когда уровень ея поднимется выше поворота сифона, жидкость начнетъ вытекать изъ длиннаго колѣна и истеченіе ея будетъ продолжаться до тѣхъ поръ, пока уровень ея не опустится ниже отверстія сифона, обращеннаго къ пустому пространству внутри горы. Въ горахъ, которыхъ вершины покрыты снѣгомъ, подобныя

углубленія во время таянія снѣга днемъ, могутъ наполняться водою, которая стекаетъ наружу во время ночи. Такіе ключи дѣйствительно попадаются въ Швейцаріи. Точно также объясняютъ явленія, представляемыя Цирквицкимъ озеромъ, изъ котораго, какъ извѣстно, по временамъ вода удаляется совершенно; на днѣ его замѣчены отверстія, которыя по всей вѣроятности принадлежатъ короткимъ колѣнамъ сифоновъ, удаляющихъ воду изъ озера. Для воспрепятствованія поднятію воды въ каналахъ послѣ сильныхъ дождей прибѣгаютъ къ помощи сифоновъ, короткія колѣна которыхъ сообщаются со стѣнками каналовъ, а длинныя проводятся въ боковые каналы. При поднятіи воды въ главныхъ каналахъ, сифонъ уводитъ воду въ боковыя до тѣхъ поръ, пока уровень воды въ главномъ каналѣ не опустится ниже отверстія короткаго плеча сифона. Подобнымъ устройствомъ снабженъ каналъ Лангедокъ во Франціи.

Фиг. 648.



Волшебная воронка состоитъ изъ двухъ соединяющихся воронокъ (фиг. 648), между которыми оставляется пустое мѣсто *aa*, соединяющееся со внѣшнимъ воздухомъ посредствомъ двухъ отверстій *o* и *c*. Если погрузить воронку въ воду, то по удаленіи воздуха изъ отверстія *o*, промежуточное пространство *aa* наполнится водою. Когда же послѣ того запереть отверстіе *o* пальцемъ и вынуть воронку изъ воды, то часть послѣдней, находящаяся въ *A*, вытечетъ черезъ *c*, между тѣмъ какъ изъ *aa* вода польется только въ томъ случаѣ, когда откроется отверстіе *o*.

Фиг. 649.



Подобное же явленіе представляетъ намъ *волшебный кувшинъ* (фиг. 649), съ открытымъ отверстіемъ *a* и просверленнымъ дномъ *b*, изъ котораго вода не будетъ вытекать до тѣхъ поръ, пока мы не откроемъ верхняго отверстія у ручки, обыкновенно запираемаго пальцемъ.

Фиг. 650.



Картезіанскій водолазъ (фиг. 650) состоитъ изъ стеклянной фигуры произвольнаго вида, имѣющей внутри пустое пространство, которое сообщается съ наружнымъ воздухомъ посредствомъ небольшаго отверстія. Фигура эта плаваетъ въ сосудѣ съ водою, который обтянутъ сверху пузыремъ. Всякое давленіе на пузырь передается всей жидкости и заставляетъ часть ея входить черезъ отверстіе во внутренность стеклянной фигуры, которая, вслѣдствіе того, дѣлается тотчасъ тяжелѣе, относительно воды, и опускается на дно. Когда же давленіе на пузырь прекратится, то воздухъ сгущенный внутри стеклянной фигуры, расширяется снова и вытѣсняетъ воду изъ фигуры. Возстановивъ, такимъ образомъ, свой прежній вѣсъ относительно воды, фигура снова поднимается кверху.

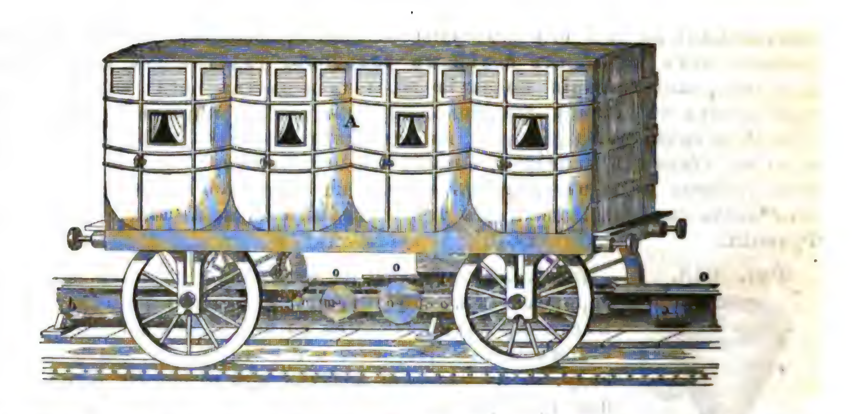
Атмосферная желѣзная дорога представляетъ одно изъ остроумнѣйшихъ примѣненій давленія воздуха на тѣло, противоположная сторона котораго освобождена отъ давленія посредствомъ разрѣженія воздуха. Атмосферная желѣзная дорога.

По срединѣ между рельсами, идущими вдоль дороги по всей длинѣ ихъ, лежитъ чугунная труба. Въ этой трубѣ находится плотно входящій поршень. Если вытянуть воздухъ изъ пространства трубы, лежащаго по одну сторону поршня, то давленіе воздуха на противоположную сторону заставитъ поршень двигаться вдоль трубы.

Вытягиваніе воздуха изъ трубы производится посредствомъ паровой машины. Поршень, приводимый въ движеніе давленіемъ атмосфернаго воздуха, увлекаетъ за собою прикрѣпленные къ нему вагоны.

Для этого прикрѣпляютъ одинъ изъ вагоновъ къ соединительному рукаву поршня (фиг. 651). Чтобы доставить возможность этому рукаву двигаться по

Фиг. 651.



трубѣ, послѣднюю снабжаютъ въ верхней части прорѣзомъ и запираютъ этотъ прорѣзъ клапанами *o*. Клапаны эти отворяются передъ поршнемъ, для пропуска соединительнаго рукава, и запираются снова по проходѣ его.

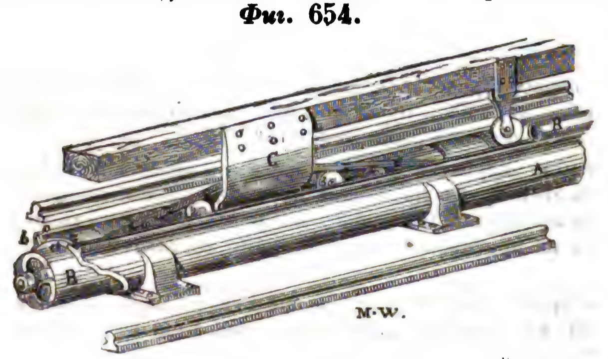
На фиг. 652*a*, 652*b*, 653 и 654 представлены подробности этого устройства.

Фиг. 652*a* представляетъ поперечный разрѣзъ дороги и трубы, лежащей по срединѣ между рельсами и открытой сверху. Кожаный клапанъ, которымъ закрываются прорѣзы, представленъ на фиг. 652*a* въ тотъ моментъ, когда онъ поднятъ для пропуска соединительнаго рукава *d*. Онъ обитъ сверху и снизу желѣзомъ, которое доставляетъ ему возможность опускаться въ то время, когда не поддерживаетъ его соединительное плечо.

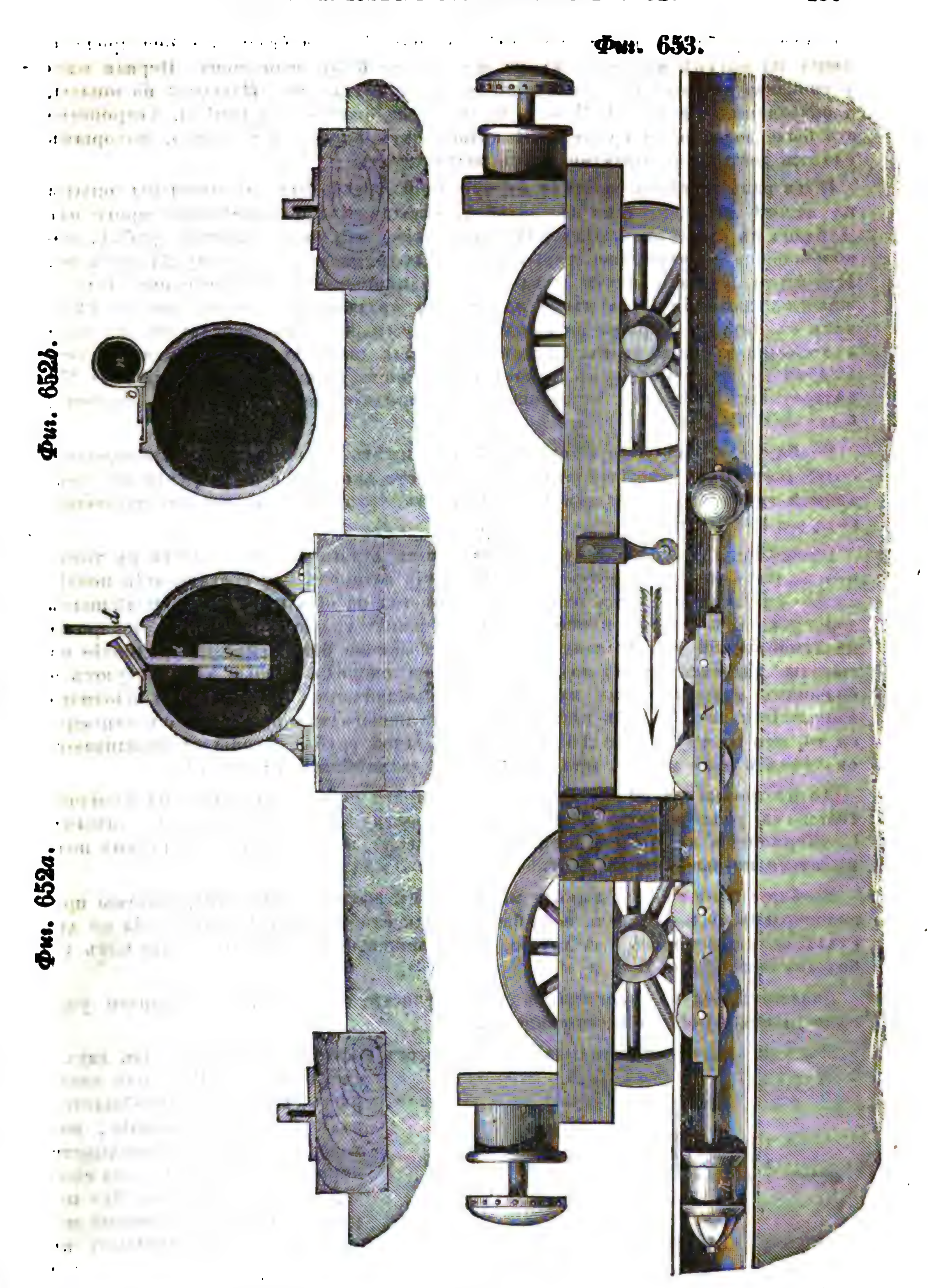
Чугунная труба имѣетъ 1′ 4″ въ діаметрѣ; каждая часть ее простирается до 7-ми футовъ длины; она смазана внутри слоемъ воску или сала на ½ линіи толщиною, для сглаживанія неровностей, происходящихъ при отливкѣ трубы, и для облегченія движенія поршня. Фиг. 652*b* показываетъ поперечный разрѣзъ трубы, когда она покрыта клапаномъ.

Устройство поршня видно изъ фиг. 653-й, представляющей продольный разрѣзъ трубы. Къ чугунному цилиндру *k* прикрѣплены два обруча изъ кожи, плотно прикасающіеся ко внутреннимъ стѣнкамъ трубки. Къ поршню прикрѣплены двѣ желѣзныя полосы, изъ которыхъ на фигурѣ видна только одна передняя. Между этими полосами прикрѣплены четыре колеса и соединительный рукавъ *d*. Діаметръ обоихъ наружныхъ колесъ, менѣе діаметра внутреннихъ. Первое колесо поднимаетъ клапанъ немного кверху, второе поднимаетъ его на столько, чтобы онъ свободно могъ проходить въ соединительный рукавъ. По проходѣ послѣдняго, клапанъ опускается на третіе колесо, потомъ на четвертое и послѣ того прикрываетъ совершенно прорѣзъ. Колесо *l*, лежащее за четвертымъ колесомъ трубы и прикрѣпленное къ вагону, напираетъ на клапанъ со внѣшней стороны трубы.

Фиг. 654.



Фигура 654-я показываетъ тоже самое въ перспективѣ.



Фиг. 653.

Когда клапанъ прикрываетъ щель, то на поверхности его при *o* (фиг. 652*b*) образуется углубленіе, наполняемое смѣсью воска и сала. Наполненіе это происходитъ посредствомъ трубки *n*, прикрѣпленной къ вагону позади колеса *l*. Чрезъ это чугунная труба снова дѣлается непроницаемою для наружнаго

воздуха. Труба *n*, наполненная смѣсью, нагрѣвается угольями; она представлена на фигурѣ въ разрѣзѣ; на фигурѣ же 653-й выпущена. Первая идея устройства атмосферной желѣзной дороги принадлежитъ *Пинкусу;* но опыты, произведенные имъ въ 1834 году, не принесли ожидаемаго успѣха. Устройство это было возобновлено спустя нѣсколько лѣтъ *Клегомъ* и *Самудою,* которымъ удалось достигнуть практическихъ результатовъ.

Надъ разрѣженіемъ воздуха въ чугунной трубѣ были произведены опыты на дорогѣ изъ Кингстона въ Дальбей, служащей продолженіемъ дороги изъ Дублина въ Кингстонъ. Изъ нихъ оказалось, что въ стеклянной трубкѣ, сообщавшейся съ чугунною трубою, ртуть поднималась на высоту 25 дюймовъ. Изъ этого поднятія ртути слѣдуетъ, что поршень съ одной стороны выдерживаетъ давленіе $2^1/_2$ фунтовъ на каждый квадратный дюймъ, между тѣмъ какъ съ другой стороны на каждый квадратный дюймъ дѣйствуетъ давленіе атмосферы въ 15 фунтовъ. Слѣдовательно для двигающейся силы приходилось $12^1/_2$ на квадратный дюймъ, а какъ поверхность поршня простиралась до 176 квадратныхъ дюймовъ, то полная сила, приводившая въ движеніе поршень, была 2200 фунтовъ.

Вообще для поѣздовъ нѣтъ надобности имѣть такой величины двигающую силу; достаточно разрѣживать воздухъ на столько, что высота ртути въ стеклянной трубкѣ простиралась до 15 дюймовъ, чрезъ что получается двигающая сила въ 1300 фунтовъ.

Главнѣйшая выгода, доставляемая этими дорогами, заключается въ томъ, что на нихъ нечего опасаться столкновенія вагоновъ или соскакиванія послѣднихъ съ рельсовъ, какъ это бываетъ иногда на обыкновенныхъ желѣзныхъ дорогахъ, гдѣ вагоны приводятся въ движеніе силою паровъ. Всѣ повороты на атмосферной дорогѣ совершаются съ большею безопасностію, поднятіе на высоты дѣлается легко; но за то, въ свою очередь, дороги эти требуютъ и большихъ издержекъ для надлежащаго выкачиванія воздуха и для плотнаго запиранія клапановъ. Къ главнѣйшимъ же невыгодамъ этихъ дорогъ относится то, что въ случаѣ малѣйшей порчи средней трубы, вагоны останавливаются тотчасъ и не могутъ продолжать уже дальнѣйшаго слѣдованія.

До настоящаго времени атмосферныя дороги проведены только на незначительныхъ разстояніяхъ. Во Франціи устроена такая дорога передъ самымъ С. Жерменемъ въ томъ мѣстѣ, гдѣ парижская желѣзная дорога должна подниматься на высокую терассу.

Вообще атмосферныя дороги могли бы съ выгодою быть устраиваемы при значительныхъ подъемахъ, если бы большая стоимость ихъ содержанія не заставляла предпочитать имъ другіе, болѣе дешевые способы поднятія: какъ то безконечные ремни и т. п.

Насосъ гидравл. пресса.

Давленіе воздуха принимаетъ также участіе въ дѣйствіи описаннаго уже нами прибора *гидравлическаго пресса.*

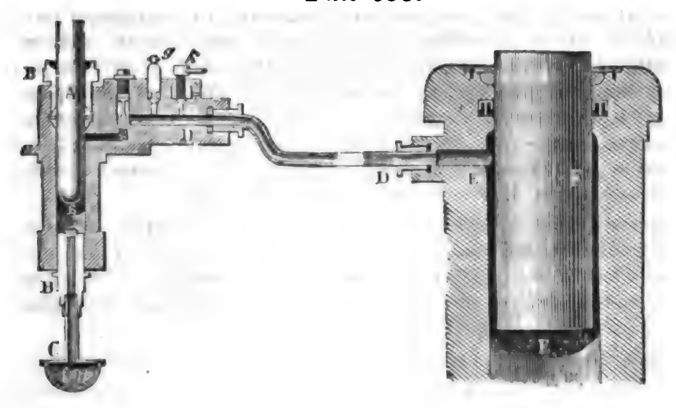
Мы уже знаемъ, что гидравлическій прессъ состоитъ собственно изъ двухъ сосудовъ (фиг. 655), изъ которыхъ въ одномъ сообщается водѣ извѣстное давленіе, которое передается поверхности поршня, назначаемаго для сжатія различныхъ тѣлъ. Эта передача давленія, о которой мы упоминали прежде только въ общихъ чертахъ, производится на самомъ дѣлѣ посредствомъ механизма, заключающагося внутри гидравлическаго пресса и представленнаго особо

Фиг. 655.



на фиг. 656. Съ помощію рычага поднимается поршень *s*, оставляя за собою безвоздушное пространство. Вслѣдствіе того вода въ резервуарѣ *b*, подвер-

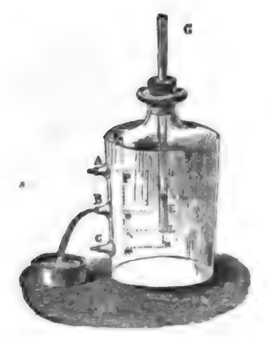
Фиг. 656.



женная давленію воздуха, проникаетъ въ это пространство чрезъ небольшія отверстія, продѣланныя въ сосудѣ *r*, поднимая для этого клапанъ *i*. Когда же поршень *l* опускается книзу, то вслѣдствіе давленія, сообщаемаго имъ водѣ, запирается клапанъ *i* и вода, не имѣя другаго выхода, принуждена переходить, посредствомъ трубки *tbu*, въ цилиндръ *ce*, гдѣ, какъ мы уже знаемъ, она производитъ увеличенное давленіе на поршень.

Маріотова стклянка есть приборъ, представляющій многія замѣчательныя явленія атмосфернаго давленія и служащій средствомъ для полученія постояннаго истеченія жидкостей. Это ничто иное какъ стклянка закрытая пробкою (фиг. 657), чрезъ которую проходитъ стеклянная трубка, открытая съ обоихъ концевъ. Сбоку стклянки находятся три узкія отверстія, протянутыя въ трубочки *A*, *B*, *C*, каждое изъ нихъ закрывается небольшими деревянными пробками. Маріотова стклянка.

Фиг. 657.



Наполнивъ совершенно водою стклянку и трубку, откроемъ послѣдовательно отверстія *A*, *B*, *C*, предполагая, что нижній конецъ трубки *g* находится между отверстіями *B* и *C*. Тогда:

1) Если откроемъ сначала отверстіе *B*, то произойдетъ истеченіе воды; поверхность ея въ трубкѣ *G* начнетъ опускаться и лишь только уровень ея достигнетъ одинаковой высоты съ поверхностью воды въ *B*, то истеченіе прекратится. Эти явленія объясняются избыткомъ давленія, происходившаго у *B* со внутренней стороны ко внѣшней; избытокъ этотъ перестаетъ существовать въ то время, когда поверхность воды въ трубкѣ *G* достигнетъ одного уровня съ *B*. И въ самомъ дѣлѣ, прежде чѣмъ начнется истеченіе, давленіе на всѣ точки горизонтальнаго слоя *BE* неодинаково: въ *E* это давленіе состоитъ изъ атмосфернаго давленія и вѣса водянаго столба *GE*, тогда какъ въ *B* дѣйствуетъ одно атмосферное давленіе. Но лишь только поверхность воды будетъ въ *B* и *E* на одной высотѣ, то произойдетъ равновѣсіе, потому что какъ въ трубкѣ, такъ и въ стклянкѣ давленіе на всѣ точки горизонтальнаго слоя *BE* будетъ одинаково. Въ дѣйствительности на точки *B* и *E* происходитъ въ этомъ случаѣ давленіе равное атмосферѣ; слѣдовательно легко доказать, что тоже самое давленіе претерпѣваетъ и всякая, произвольная точка *o*, лежащая на этомъ горизонтальномъ слоѣ *BE*. Для этого обозначимъ атмосфер-

ное давленіе чрезъ h; эта сила, дѣйствуя прямо на B и E, передается, по закону Паскаля, всѣмъ частицамъ воды въ стклянкѣ и точка K, отвѣсно лежащая надъ O, выдерживаетъ снизу вверхъ давленіе равное $h - KO$, потому что вѣсъ столба воды KO частію уничтожаетъ давленіе, стремящееся распространиться до точки K. Но изъ механики мы знаемъ, что всякое дѣйствіе равно противодѣйствію; слѣдовательно давленіе $h - KO$ должно дѣйствовать по противоположному направленію сверху внизъ на слой BE, такимъ образомъ, что частица O будетъ выносить два давленія, одно равное вѣсу водянаго столба KO, а другое давленію $h - KO$, происшедшему вслѣдствіе противодѣйствія оказываемаго точкою K; значитъ дѣйствительное давленіе, выносимое точкою O, будетъ $KO + h - KO$ или h, что и требовалось доказать.

2) Если закроемъ отверстіе B и откроемъ A, то замѣтимъ, что не будетъ происходить истеченія; но когда воздухъ взойдетъ чрезъ A въ стклянку и отъ того поверхность въ трубкѣ G поднимется до слоя AD, то произойдетъ равновѣсіе. Въ самомъ дѣлѣ, подобно предъидущему можно доказать, что въ этомъ случаѣ давленіе на всѣ точки слоя AD одинаково.

3) Если, закрывъ отверстія A и B, откроемъ C, то будетъ происходить истеченіе съ постоянною скоростью до тѣхъ поръ, пока поверхность воды въ стклянкѣ не опустится ниже отверстія L трубки; воздухъ входитъ тогда пузырьками чрезъ это отверстіе въ верхнюю часть стклянки и занимаетъ въ ней мѣсто вытекающей воды.

Для доказательства постояннаго истеченія воды изъ отверстія C достаточно показать, что давленіе, выдерживаемое горизонтальнымъ слоемъ CH, совершенно равно суммѣ давленій атмосферы и столба воды HL. Предположимъ въ самомъ дѣлѣ, что въ стклянкѣ поверхность воды понизилась до слоя AD. Тогда воздухъ, проникнувшій въ стклянку, выдерживаетъ давленіе равное $h - PN$. Вслѣдствіе своей упругости, она передаетъ это давленіе на слой CH; а этотъ слой кромѣ того выноситъ вѣсъ столба воды PM. Слѣдовательно давленіе на M будетъ $PM + h - PM$, или $h + MN$, то есть $h + HL$. Точно также можно доказать, что это давленіе будетъ одно и тоже и въ томъ случаѣ, когда поверхность воды опустится до BB и такъ далѣе до тѣхъ поръ, пока она будетъ выше отверстія L. Но когда она опустится ниже послѣдняго, то уменьшится давленіе на слой CH, а слѣдовательно и скорость истеченія.

Такимъ образомъ, наполняя маріотову стклянку водою и открывъ отверстіе, находящееся ниже конца трубки L, получаютъ постоянное истеченіе. Скорость его пропорціональна тогда квадратному корню изъ высоты LH.

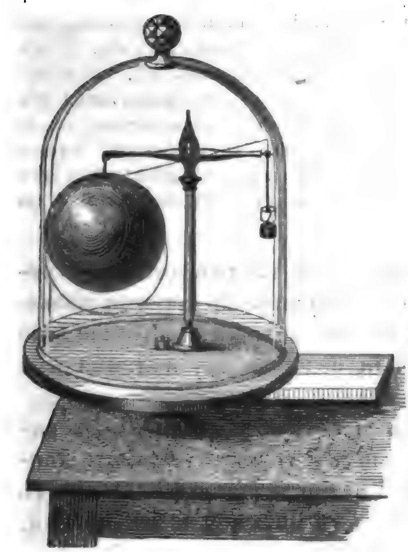
Приложеніе Архим. закона къ газамъ.

§ 182. Извѣстно, что давленія, производимыя газами, по причинѣ упругости и тяжести послѣднихъ, дѣйствуютъ одинаково во всѣ стороны; для воздуха это доказано уже посредствомъ магдебургскихъ полушарій. Отсюда слѣдуетъ, что къ тѣламъ, погруженнымъ въ атмосферу, можно примѣнить слово въ слово то, что было сказано о тѣлахъ, погруженныхъ въ жидкости, и заключить, что они теряютъ изъ своего вѣса вѣсъ вытѣсняемаго ими воздуха.

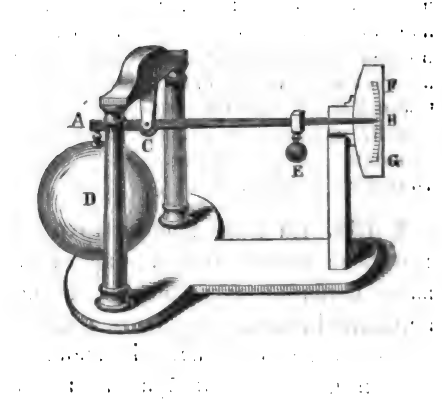
Эта потеря вѣса въ воздухѣ доказывается посредствомъ *бароскопа*— прибора, состоящаго изъ вѣсоваго коромысла, у котораго на одномъ концѣ привѣшена маленькая свинцовая гирька, а на другомъ пустой мѣдный шаръ. Въ воздухѣ оба эти тѣла находятся въ равновѣсіи; но если поставимъ приборъ подъ стеклянный колоколъ воздушнаго насоса, то увидимъ, что шаръ начинаетъ перетягивать гирю и опускаться, какъ это видно изъ фиг 658. Это показываетъ, что шаръ дѣйствительно тяжелѣе гири, потому что здѣсь оба эти тѣла не подвержены никакому давленію и подчинены одной только тяжести.

Слѣдовательно въ воздухѣ шаръ теряетъ часть своего вѣса. Для удостовѣренія съ помощію этого же прибора въ томъ, что потеря вѣса въ воздухѣ совершенно равна вѣсу воздуха вытѣсненнаго шаромъ, измѣряютъ объемъ шара, потомъ кладутъ на гирьку небольшую пластику, которой вѣсъ равенъ вѣсу этого объема воздуха; тогда равновѣсіе, которое прежде имѣло мѣсто въ воздухѣ, нарушится, напротивъ въ пустотѣ оно возстановляется. Тотъ же самый опытъ можетъ быть произведенъ посредствомъ прибора, представленнаго на

Фиг. 658.



Фиг. 659.



фиг. 659-й. При этомъ устройствѣ прибора конецъ рычага *AB* двигающійся по дугѣ, раздѣленной на градусы, можетъ даже показывать величину самой потери.

Такъ какъ законъ архимедовъ справедливъ и для тѣлъ, погруженныхъ въ воздухѣ, то къ нимъ можно примѣнить все, что было сказано о тѣлахъ, погруженныхъ въ жидкости. Такъ напр. если какое нибудь тѣло тяжелѣе воздуха, то оно падаетъ, вслѣдствіе избытка своей тяжести надъ взаимнымъ сцѣпленіемъ частицъ газа. Если тѣло имѣетъ плотность одинаковую съ воздухомъ, то вѣсъ его и давленіе снизу вверхъ будутъ въ равновѣсіи и тѣло будетъ плавать въ атмосферѣ. Наконецъ, если тѣло менѣе плотно, нежели воздухъ, то давленіе воздуха преодолѣваетъ силу тяжести и тѣло поднимается въ воздухѣ до тѣхъ поръ, пока не дойдетъ до воздушныхъ слоевъ, одинаково плотныхъ съ этимъ тѣломъ. Сила поднятія въ такомъ случаѣ равна избытку давленія надъ тяжестью тѣла. Вотъ причина, почему дымъ, пары, облока, аэростаты поднимаются сами собою въ атмосферѣ.

Изъ примѣненія архимедова закона къ газамъ слѣдуетъ, что при каждомъ *точномъ* взвѣшиваніи мы должны принимать во вниманіе ту потерю вѣса, которая равна вѣсу воздуха, вытѣсненнаго взвѣшиваемымъ тѣломъ. Поло-

жимъ, что вѣсъ какого нибудь тѣла въ воздухѣ равенъ V и что истинный его вѣсъ въ безвоздушномъ пространствѣ $= V'$. Если d есть плотность воздуха сравнительно съ плотностію взвѣшиваемаго тѣла, то сила, поддерживающая тѣло въ воздухѣ, будетъ dV'. Слѣдовательно $V = V' - dV'$, откуда $V' = \frac{V}{1-d}$. Если тѣло имѣетъ одинаковую плотность съ водою во время плотнѣйшаго ея состоянія, то плотность воздуха при 0° и 0,76 метра высоты ртути $= 0{,}0012995$. Послѣднюю величину должно вставить въ уравненіе $V' = \frac{V}{1-d}$ вмѣсто d. Какъ воздухъ расширяется отъ теплоты, то въ найденную величину для d должно ввести поправку, соотвѣтствующую градусу теплоты во время взвѣшиванія. Поправка эта можетъ быть опредѣлена на основаніи законовъ расширенія воздуха отъ теплоты, о которыхъ мы будемъ говорить впослѣдствіи. Какъ плотности газовъ находятся въ прямомъ отношеніи съ давленіями, то должно при взвѣшиваніи опредѣлить посредствомъ барометра величину давленія воздуха и результатъ, полученный въ частяхъ метра, вставить въ величину для d. Сверхъ того надобно знать состояніе влажности воздуха, имѣющей также вліяніе на плотность послѣдняго и самое расширеніе взвѣшимаего тѣла отъ теплоты, хотя послѣднее обстоятельство оказываетъ наименьшее вліяніе на точность вывода.

Аэростаты. § 183. На примѣненіи архимедова закона къ газамъ основано устройство *аэростатовъ*. Аэростатами или воздушными шарами называются шары изъ легкой и непромокаемой матеріи, которые, по наполненіи ихъ нагрѣтымъ воздухомъ или водородомъ, поднимаются въ атмосферѣ вслѣдствіе своей относительной легкости.

Они изобрѣтены братьями Стефаномъ и Іосифомъ Монгольфьерами, бумажными фабрикантами въ небольшомъ городкѣ Франціи Даннонэ, гдѣ и былъ произведенъ первый опытъ 5 Іюня 1783 г. надъ шаромъ, стѣнки котораго были склеены изъ двухъ слоевъ бумаги, имѣвшихъ 36 метровъ въ окружности и 250 килограммовъ вѣсу. Чрезъ отверстіе снизу этотъ шаръ наполнялся воздухомъ, нагрѣвавшимся снизу посредствомъ зажженной бумаги, шерсти и смоченной соломы.

Еще прежде Монгольфьеровъ въ 1767 г. Блэкъ (Black), профессоръ физики въ Эдимбургѣ, упоминалъ въ своихъ лекціяхъ, что животный пузырь, наполненный водородомъ, долженъ подниматься самъ собою въ атмосферѣ; но онъ никогда не производилъ этого опыта, считая его только забавою. Въ 1782 г. Кавалло сообщилъ Лондонскому Королевскому обществу свои опыты, касательно поднятія кверху мыльныхъ пузырей, наполненныхъ водороднымъ газомъ и приписывалъ это обстоятельство тому, что заключавшійся въ нихъ газъ легче воздуха.

Какъ бы то ни было, но братья Монгольфьеры не знали объ опытахъ Кавалло и Блэка до своего открытія. Какъ они употребляли для наполненія своихъ шаровъ исключительно нагрѣтый воздухъ, то шары съ нагрѣтымъ воздухомъ въ отличіе отъ шаровъ, наполняемыхъ водородомъ, принято называть *монгольфьерами*.

Первый, замѣнившій нагрѣтый воздухъ водородомъ, былъ парижскій профессоръ физики Шарль, умершій въ 1823 году. Вотъ почему наполняемые водородомъ аэростаты, въ отличіе отъ монгольфьеровъ,

называются *шарльерами*. 27 Августа 1783 г. шаръ, наполненный впервые водородомъ, былъ спущенъ на Марсовомъ полѣ. «Никогда еще», пишетъ Марсье, «не дана была лекція физики столь многочисленнымъ и внимательнымъ слушателямъ».

21 Ноября того же года Пилатръ де Розье, въ сопровожденіи кавалера Дарланда, предпринялъ первое воздушное путешествіе на шарѣ, наполненномъ нагрѣтымъ воздухомъ. Поднятіе происходило въ саду близь Булоньскаго лѣса. Воздухоплаватели жгли въ нижней части шара сырую солому для расширенія воздуха, заключавшагося внутри шара, отъ чего оболочка шара каждую минуту подвергалась опасности загорѣться. Десять дней спустя, въ Тюльерійскомъ саду, Шарль и Роберъ повторили тотъ же опытъ надъ шаромъ наполненнымъ водородомъ.

7-го Января 1785 г. Бланшаръ, вмѣстѣ съ докторомъ Жефри, первый переѣхалъ въ аэростатѣ изъ Дувра въ Кале. Воздухоплаватели достигли береговъ Франціи съ большимъ трудомъ и принуждены были выбросить въ море для облегченія шара все до самой одежды, которая была на нихъ.

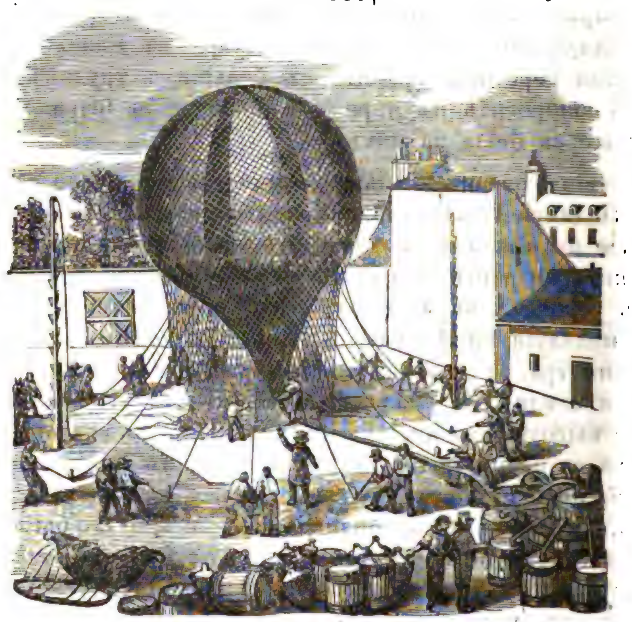
Впослѣдствіи совершено было значительное число воздушныхъ поднятій. Поднятіе Гэ-Люссака 15 Сентября 1804 г. было самое замѣчательное по фактамъ, которыми оно обогатило науку, и по высотѣ, до которой достигъ этотъ ученый, поднявшійся на 7016 метровъ надъ уровнемъ моря. Послѣ того Гринъ поднимался еще выше. Во время поднятія Гэ-Люссака при высотѣ 7016^m барометръ упалъ на 32 сантиметра, а стоградусный термометръ, показывавшій при поверхности земли 31^0, упалъ на $9^0,5$ ниже 0. Новое поднятіе дало для той же высоты уже низшую температуру. Въ возвышенныхъ слоевъ воздуха во время поднятія Гэ-Люссака въ Іюлѣ, воздухъ былъ до такой степени сухъ, что гигрометрическія тѣла, каковы бумага, пергаменъ, изсохли и искоробились такъ, какъ будто бы ихъ держали надъ огнемъ. Дыханіе и кровообращеніе ускорились отъ малой плотности воздуха. Гэ-Люссакъ говоритъ, что его пульсъ билъ тогда 120 ударовъ въ минуту, вмѣсто обыкновенныхъ 66. Небо на этой высотѣ имѣло темный голубой оттѣнокъ на черномъ днѣ. Отправившись со двора Консерваторіи искусствъ и ремеселъ въ Парижѣ, Гэ-Люссакъ опустился чрезъ 6 часовъ близь Руана, пролетѣвъ около 30 лье.

Оболочка аэростатовъ дѣлается изъ длинныхъ веретенообразныхъ кусковъ тафты, которые сшиваютъ между собою и обмазываютъ каучукомъ, дѣлающимъ ткань непромокаемою. На верхушкѣ шара находится клапанъ, который посредствомъ пружины содержится всегда закрытымъ и можетъ быть открываемъ по волѣ воздухоплавателя помощью веревки. Легкая лодочка изъ ивы, въ которой могутъ помѣститься нѣсколько человѣкъ, виситъ внизу шара и поддерживается веревочною сѣткою, покрывающею весь шаръ (фиг. 660 и 661).

Обыкновеннаго размѣра шаръ, могущій поднять трехъ человѣкъ, имѣетъ около 15m высоты, 11m въ діаметрѣ и 700 куб. метровъ въ объемѣ, если онъ совершенно наполненъ. Оболочка вѣситъ 100 килограммовъ, а прочія принадлежности, какова сѣтка, лодка — 50 кил.

Аэростаты наполняютъ или чистымъ водородомъ или углеродистымъ водородомъ, употребляемымъ на освѣщеніе. Хотя послѣдній газъ плотнѣе перваго, но онъ теперь употребляется часто для аэростатовъ, потому что его добываніе обходится легче и дешевле, нежели добываніе чистаго водорода; сверхъ того во многихъ городахъ устроено теперь газовое освѣщеніе и потому весьма легко наполнять аэростаты приготовляемымъ на газовомъ заводѣ газомъ, который проводится въ этомъ случаѣ къ мѣсту назначенія посредствомъ каучуковой трубы.

Фиг. 660.



Фигура 660-я представляетъ шаръ, наполненный чистымъ водородомъ. На право изображено нѣсколько боченковъ, въ которыхъ находятся желѣзныя опилки и сѣрная кислота — вещества необходимыя для приготовленія водорода. Изъ каждаго боченка газъ переходитъ въ центральный боченокъ съ вынутымъ нижнимъ дномъ, плавающій въ чану наполненномъ водою. Газъ, очистившись въ этой водѣ, переходитъ въ аэростатъ посредствомъ длинной трубы, сдѣланной изъ плотной матеріи.

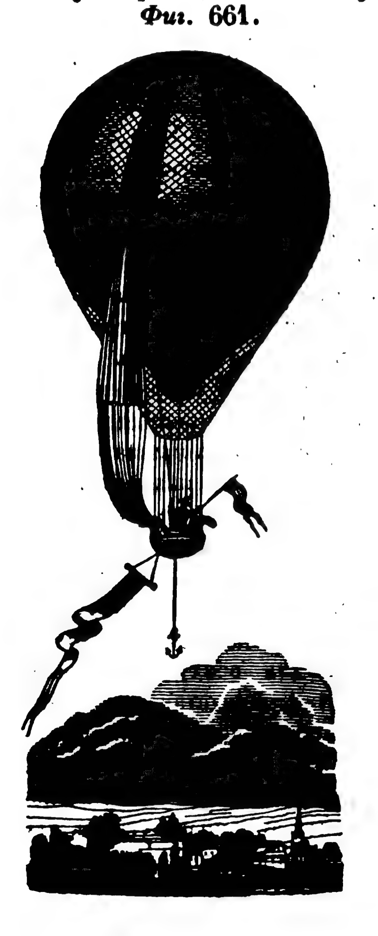
Чтобы облегчить входъ газу въ шаръ, вбиваютъ два шеста и на ихъ верхушкахъ укрѣпляютъ по блоку, чрезъ которые проходитъ веревка отъ неподвижнаго кольца на клапанѣ. При такомъ устройствѣ, поднявъ аэростатъ на одинъ метръ отъ земли, можно начать впускать газъ; потомъ, по мѣрѣ наполненія шара, его поднимаютъ нѣ-

сколько выше, помогая при этомъ нѣсколько въ началѣ его надуванію. Когда же шаръ надуется, то должно уже противостоять стремленію его къ поднятію вверхъ, для чего его удерживаютъ посредствомъ веревокъ, прикрѣпленныхъ къ сѣткѣ. Эти различныя приготовленія требуютъ по крайней мѣрѣ двухъ часовъ. Наконецъ воздухоплаватель садится въ лодочку; по данному знаку опускаютъ веревки и шаръ поднимается тѣмъ съ большею скоростью, чѣмъ легче онъ вытѣсненнаго имъ объема воздуха.

Не должно наполнять шаръ совершенно, потому что по мѣрѣ его возвышенія въ воздухѣ уменьшается атмосферное давленіе и газъ, находящійся въ шарѣ, начинаетъ сильнѣе расширяться и наконецъ можетъ разорвать оболочку шара.

Достаточно, чтобы сила поднятія, т. е. избытокъ вѣса вытѣсненнаго воздуха надъ вѣсомъ прибора былъ отъ 4 до 5 килограммовъ. Должно замѣтить, что эта сила остается постоянно до тѣхъ поръ, пока надуваніе шара не достигнетъ совершеннаго развитія вслѣдствіе расширенія внутренняго газа. Въ самомъ дѣлѣ, если атмосферное давленіе сдѣлалось напримѣръ вдвое менѣе, то газъ въ аэростатѣ, по закону Маріота, долженъ удвоиться въ объемѣ; откуда слѣдуетъ, что объемъ вытѣсненнаго воздуха тоже увеличивается вдвое, за то его плотность вдвое уменьшается, а слѣдовательно вѣсъ его и сила давленія снизу вверхъ не измѣнятся. Если же шаръ совершенно надутъ и продолжаетъ подниматься, то сила поднятія уменьшается, потому что объемъ вытѣсненнаго воздуха остается тотъ же, но плотность его уменьшается. Значитъ наступитъ время, когда сила поднятія сдѣлается равною нулю и тогда шаръ пойдетъ въ горизонтальномъ направленіи, слѣдуя воздушному теченію, господствующему въ атмосферѣ.

Фиг. 661.



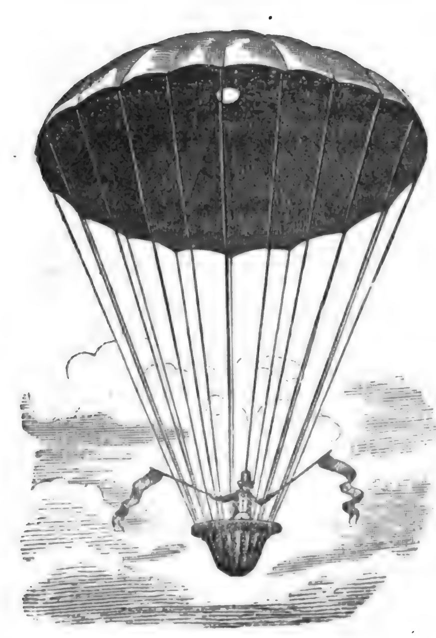
Только по показаніямъ барометра воздухоплаватель можетъ заключить о томъ, поднимается ли онъ, или опускается. Въ первомъ случаѣ ртуть понижается, во второмъ поднимается. Помощью этого же прибора онъ можетъ судить о высотѣ, на которой находится. Длинный флюгеръ, прикрѣпленный къ лодочкѣ, показываетъ также своимъ положеніемъ, относительно лодочки, поднимается ли шаръ, или опускается (фиг. 661).

Когда воздухоплаватель хочетъ опуститься, то онъ тянетъ за веревку, которая открываетъ клапанъ вверху шара, тогда водородъ смѣшивается со внѣшнимъ воздухомъ и шаръ опускается. Напротивъ, чтобы ослабить опусканіе, если оно слишкомъ быстро, или чтобы вновь подняться, если шаръ опускается въ опасномъ мѣстѣ, воздухоплаватель опоражниваетъ мѣшки съ пескомъ, которыми онъ долженъ запастись въ достаточномъ количествѣ. Облегченный такимъ образомъ шаръ поднимается вновь, чтобы потомъ опуститься въ болѣе благопріятномъ мѣстѣ. Опусканіе шара облегчаютъ еще привѣшиваніемъ къ лодочкѣ на длинной веревкѣ якоря, когда якорь встрѣчаетъ препятствіе, то шаръ опускается медленно, натягивая веревку.

Аэростаты до сихъ поръ не имѣли важнаго приложенія. Въ сраженіи при Флерюсѣ 1794 г. употребленъ былъ шаръ, удерживаемый на веревкѣ; на немъ былъ поднятъ человѣкъ, дававшій посредствомъ сигналовъ вѣсти о движеніяхъ непріятеля. Много поднятій было совершено съ цѣлію произведенія метеорологическихъ наблюденій въ верхнихъ слояхъ атмосферы. Но аэростаты могутъ принести истинную пользу тогда только, когда найдутъ средство управлять ими, а дѣлаемыя до сихъ поръ съ этою цѣлію попытки совершенно не удались. Въ настоящее время для этого существуетъ только одно средство: подниматься въ атмосферѣ до тѣхъ поръ, пока не встрѣтится теченіе, болѣе или менѣе соотвѣтствующее тому направленію, которому хотятъ слѣдовать.

Парашютъ. **§ 184.** Парашютъ имѣетъ цѣлію доставить воздухоплавателю возможность, оставляя шаръ, ослабить силу паденія собственнаго. Онъ устроивается изъ большаго круглаго куска холста около 5 метровъ въ діаметрѣ, который отъ сопротивленія воздуха раздувается въ видѣ огромнаго зонтика и потому можетъ падать только медленно. Къ его краямъ прикрѣплены веревки, поддерживающія лодку съ воздухоплавателемъ; въ центрѣ парашюта находится отверстіе, сквозь которое выходитъ воздухъ, стѣсненный во время паденія подъ порашютомъ; въ противномъ случаѣ, могутъ происходить сотрясенія, сообщающіяся лодочкѣ и опасныя для воздухоплавателя. На фиг. 661-й представленъ сбоку шара парашютъ сложенный и привязанный къ сѣткѣ посредствомъ веревки, проходящей по блоку въ лодочку. Стоитъ только отпустить эту веревку и парашютъ оставитъ шаръ.


Фиг. 662.



Кажется Бланшаръ придумалъ первый парашютъ, по крайней мѣрѣ онъ первый употребилъ его въ Базелѣ, но употребилъ несчастливо, потому что при опусканіи переломилъ себѣ ногу. Впослѣдствіи многіе воздухоплаватели съ успѣхомъ употребляли парашютъ при опусканіи на землю.

§ 185. Чтобы опредѣлить силу, необходимую для поднятія шара, должно, на основаніи сказаннаго нами выше, опредѣлить вѣсъ воздуха вытѣсняемаго имъ и вычесть изъ этого вѣса вѣсъ всѣхъ частей его составляющихъ, какъ-то: вѣсъ газа наполняющаго шаръ, вѣсъ оболочки, для которой обыкновенно берутъ тафту пропитанную лакомъ. Для этого необходимо прежде всего знать объемъ занимаемый шаромъ. Если извѣстны размѣры шара, то для вычисленія его объема, предполагая, что шаръ имѣетъ совершенно сферическую форму, прибѣгаютъ къ формулѣ $V=\frac{4\pi R^3}{3}$, которая, какъ извѣстно, представляетъ въ геометріи объемъ шара, у котораго радіусъ R, а π есть отношеніе окружности къ діаметру. Опредѣленіе силы для поднятія шара.

Положимъ, что шаръ, наполненный водородомъ, имѣетъ 11 метровъ. Если бы при самомъ началѣ поднятія газъ, находящійся внутри шара, былъ въ состояніи надуть его совершенно, то на основаніи приведенной формулы, объемъ его долженъ быть равенъ 696 кубическимъ метрамъ. Но какъ вообще при началѣ поднятія, расширеніе заключающагося въ немъ газа достигаетъ только половиннаго развитія, то мы можемъ взять для объема 348 кубическихъ метровъ. Число это показываетъ намъ объемъ воздуха, вытѣсненнаго шаромъ при самомъ началѣ поднятія. Какъ 1 кубическій метръ воздуха вѣситъ 1 кил. 300 гр., то 348 кубич. метровъ будутъ вѣсить 452 килограмма.

Для полученія силы, поднимающей шаръ, должно вычесть изъ этого вѣса вѣсъ заключающагося въ шарѣ водорода, вѣсъ оболочки и другихъ принадлежностей. Какъ вѣсъ водорода въ 14 разъ менѣе противу воздуха, то вѣсъ газа, заключающагося въ шарѣ, будетъ составлять $^1/_{14}$ отъ 452 или 32 кил. *. Прибавивъ къ послѣднему вѣсъ оболочки и принадлежностей до 150 кил., должно будетъ изъ 452 вычесть 182.

Значитъ для поднимающей силы остается 270 кил. А какъ для поднятія собственно достаточно 5 кил., то очевидно, что взятаго нами размѣра шаръ можетъ поднять съ собою до 256 кил.

Какъ объемы шаровъ увеличиваются пропорціонально кубамъ, а поверхности пропорціонально квадратамъ ихъ радіусовъ, то очевидно, что поднимающая сила должна увеличиваться вмѣстѣ съ увеличеніемъ радіуса. Такъ напр. если удвоить радіусъ шара, то объемъ его, а слѣдовательно и вѣсъ вытѣсненнаго воздуха, увеличивается въ 8 разъ, между тѣмъ какъ поверхность, а слѣдовательно и вѣсъ оболочки, увеличивается только въ 4 раза.

---

* Мы предполагали здѣсь химически чистый водородъ; но газъ, которымъ наполняютъ аэростаты, собственно бываетъ около 7 разъ легче воздуха.



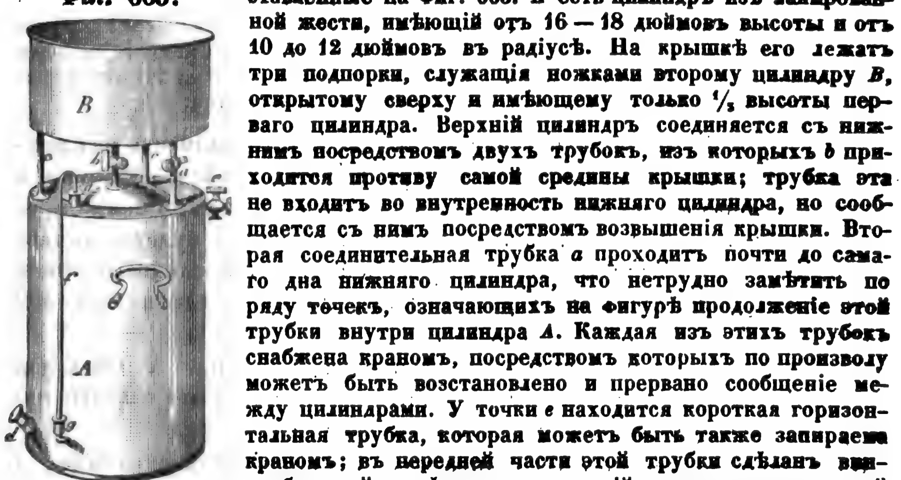
Движеніе газовъ.

—

Газометры. § 186. Если газъ запертъ въ сосудѣ, въ которомъ находится отверстіе, то онъ будетъ выходить чрезъ послѣднее въ томъ случаѣ, если давленіе, производимое на него въ сосудѣ, будетъ значительнѣе противу атмосфернаго давленія. Законы истеченія газовъ чрезъ отверстія въ тонкой стѣнѣ, чрезъ короткія приставныя и чрезъ проводныя трубки совершенно подобны тѣмъ, о которыхъ мы говорили при разсмотрѣніи движенія капельножидкихъ тѣлъ. Приборы, устроенные для доставленія постояннаго истеченія газовъ, называются *газометрами*.

Въ химическихъ лабораторіяхъ обыкновенно употребляются газометры, представленные на фиг. 663. *A* есть цилиндръ изъ лакированной жести, имѣющій отъ 16 — 18 дюймовъ высоты и отъ 10 до 12 дюймовъ въ радіусѣ. На крышкѣ его лежатъ три подпорки, служащія ножками второму цилиндру *B*, открытому сверху и имѣющему только $^1/_3$ высоты перваго цилиндра. Верхній цилиндръ соединяется съ нижнимъ посредствомъ двухъ трубокъ, изъ которыхъ *b* приходится противу самой средины крышки; трубка эта не входитъ во внутренность нижняго цилиндра, но сообщается съ нимъ посредствомъ возвышенія крышки. Вторая соединительная трубка *a* проходитъ почти до самаго дна нижняго цилиндра, что нетрудно замѣтить по ряду точекъ, означающихъ на фигурѣ продолженіе этой трубки внутри цилиндра *A*. Каждая изъ этихъ трубокъ снабжена краномъ, посредствомъ которыхъ по произволу можетъ быть возстановлено и прервано сообщеніе между цилиндрами. У точки *e* находится короткая горизонтальная трубка, которая можетъ быть также запираема краномъ; въ передней части этой трубки сдѣланъ винтообразный нарѣзъ, позволяющій привинчивать къ ней различныя трубки. Близь дна нижняго цилиндра находится обращенное кверху отверстіе *d*, которое запирается или винтомъ или просто пробкою.

Фиг. 663.



Когда желаютъ наполнить нижній цилиндръ газомъ, то должно предварительно наполнить его водою. Для этого запирается отверстіе *d*, отворяются три крана и послѣ того наливается уже вода въ верхній цилиндръ. Вода переходитъ въ нижній цилиндръ, и когда послѣдній наполнится ею до того, что вода начнетъ течь изъ отверстія *e*, то запираютъ кранъ *e*. Остатокъ воздуха, находящійся еще въ цилиндрѣ, удаляется чрезъ трубку *b*. По наполненіи нижняго цилиндра такимъ образомъ водою, запираются краны соединительныхъ трубокъ и въ тоже время удаляютъ прочь отъ отверстія *d* винтъ или пробку. Вода не можетъ вытекать чрезъ послѣднее, потому что въ верхнюю часть ея не могутъ уже проникать пузырьки воздуха. Но если вставить въ *d* газопроводную трубку, идущую отъ сосуда, въ которомъ отдѣляется газъ, то послѣдній, вслѣдствіе упругости и легкости своей, будетъ проникать чрезъ воду и собираться въ верхней части цилиндра *A*, вытѣсняя оттуда воду, ко-

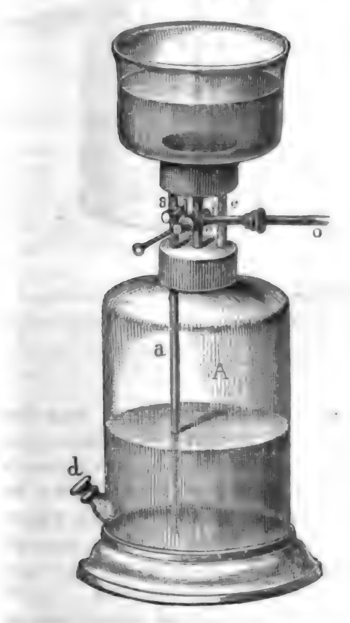
торая принуждена будетъ вытекать изъ отверстія *d*. Этимъ способомъ нижній цилиндръ наполняется все болѣе и болѣе газомъ. До какого мѣста цилиндръ наполняется газомъ можно видѣть въ стеклянной трубкѣ *f*, соединяющейся съ верхнею и нижнею частію сосуда *A*, такъ что вода въ этой трубкѣ стоитъ на одномъ уровнѣ съ высотою воды въ цилиндрѣ.

По наполненіи всего нижняго резервуара водою, запирается отверстіе *d* и открывается кранъ соединительной трубки *a*. Если потомъ отворить кранъ *e*, то газъ вытекаетъ изъ этого отверстія со скоростію соотвѣтствующею давленію водянаго столба въ трубкѣ *a*.

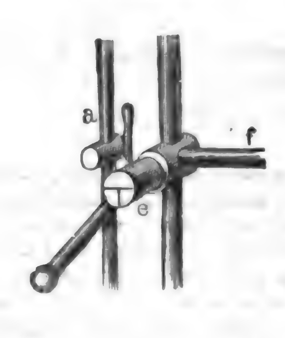
Не должно упускать изъ вида, что для этого вода должна находиться въ верхнемъ цилиндрѣ.

Въ настоящее время устраиваютъ стеклянные газометры, которые позволяютъ видѣть внутреннее устройство ихъ. Понятно, что въ этомъ случаѣ нѣтъ никакой надобности имѣть трубку *f* (фиг. 663). Фиг. 664-я представляетъ такой газометръ въ $^1/_{10}$ натуральной его величины. — Нижній стеклянный сосудъ *A* имѣетъ съуженное горло, къ которому прикрѣпляется посредствомъ смазки мѣдный цилиндръ. По срединѣ нѣсколько возвышенной крышки послѣдняго, находится трубка, запирающаяся у *e* краномъ, по открытіи котораго газъ можетъ выходить чрезъ горизонтальную трубку *f*. Тоже самое устройство имѣетъ снизу и верхній цилиндръ, назначаемый для воды. Трубка *a* идетъ отъ дна верхняго цилиндра почти до дна цилиндра *A*; *c* служитъ подпоркою. Для наполненія *A* водою запирается отверстіе *d*; отворяются кранъ *e* и кранъ трубки *a*, и вливается потомъ вода въ верхній сосудъ. По наполненіи нижняго сосуда водою, запираются оба крана, отворяется *d* и проводится газъ въ сосудъ *A*, какъ и въ прежнемъ газометрѣ. Когда газометръ наполнится газомъ, запирается *d* и отворяется кранъ *a*, такъ что газъ въ *A* подвергается давленію водянаго столба. Газъ вытекаетъ чрезъ *f* по открытіи крана *e*.


Фиг. 664.



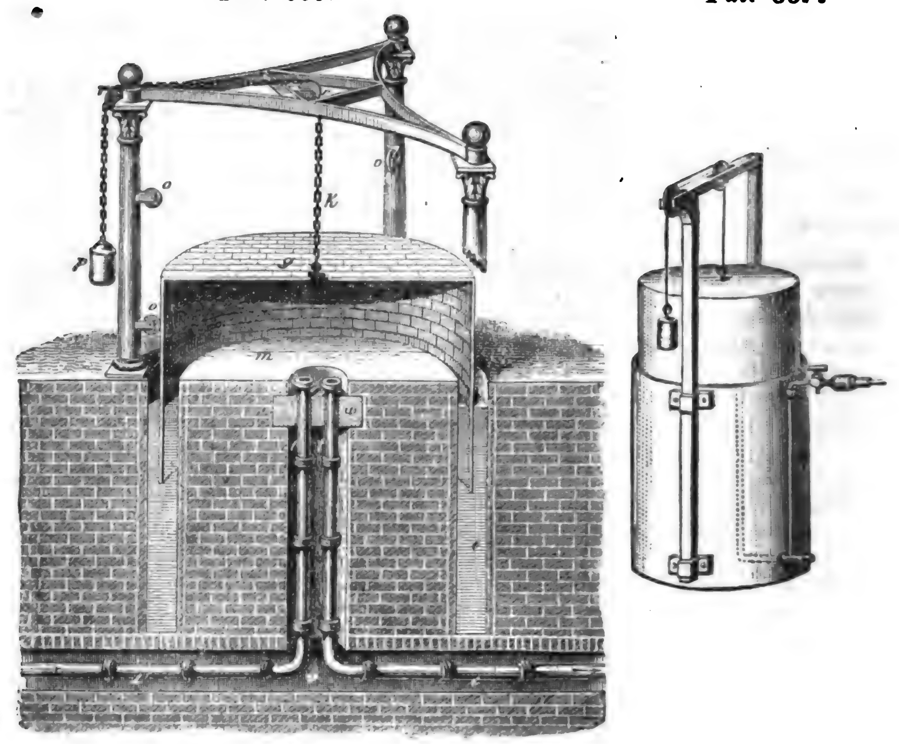
Фиг. 665.



На фиг. 665-й представленъ кранъ *e* въ болѣе увеличенномъ видѣ. Кранъ этотъ просверленъ въ двухъ мѣстахъ, чрезъ что получается возможность, вмѣсто выпусканія газа по трубкѣ *f*, проводить его по отвѣсному продолженію трубки *e* въ верхній сосудъ, гдѣ этотъ газъ можетъ быть собираемъ въ бутылки, въ колбы и въ другіе сосуды.

Большіе газометры, употребляемые при газовомъ освѣщеніи, устраиваются на другомъ началѣ. Закрытый сверху цилиндръ (фиг. 666) погружается въ

Фиг. 666. *Фиг.* 667.



большой, наполненный водою, резервуаръ, средняя часть котораго, подобно наружной, можетъ быть также выложена камнемъ. Цилиндръ этотъ состоитъ изъ жести: положимъ, что онъ имѣетъ 30 футовъ въ діаметрѣ, заключаетъ 2700 кубическихъ футовъ газа и вѣситъ примѣрно 20,000 фунтовъ. Онъ не опускается книзу въ водѣ, потому что этому опусканію препятствуетъ упругая сила наполняющаго его газа, но взамѣнъ того онъ давитъ всѣмъ своимъ вѣсомъ на этотъ газъ и содержитъ его подъ давленіемъ большимъ противу давленія атмосферы. На основаніи принятаго нами предположенія, этотъ перевѣсъ давленія простирается до 20,000 фунтовъ на круговую поверхность, имѣющую въ радіусѣ 30 футовъ, что соотвѣтствуетъ давленію водянаго столба около 5 дюймовъ высоты; поэтому снаружи вода должна быть 5″ выше, нежели внутри цилиндра.

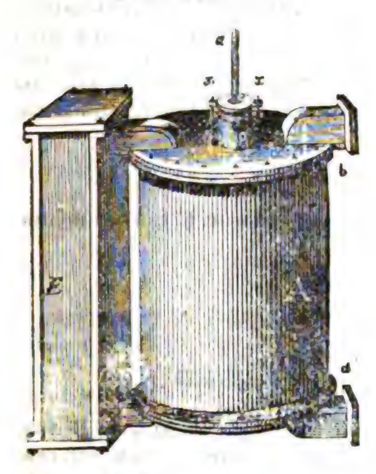
Во внутренность этого цилиндра проходитъ снизу трубка, такъ чтобы верхнее открытое ея отверстіе находилось надъ уровнемъ воды; трубка эта раздѣляется на множество отдѣльныхъ трубокъ, ведущихъ къ горѣлкамъ, изъ которыхъ газъ долженъ постоянно устремляться со скоростію, соотвѣтствующею давленію въ газометрѣ. Скороть эта постоянна, потому что и при опусканіи газометра въ воду онъ будетъ мало терять въ вѣсѣ, погружаясь только своими боковыми стѣнками. Давленіе, производимое на газъ, измѣряется и уравнивается противовѣсомъ. Для наполненія газометра газомъ запирается краномъ трубка, проводящая газъ къ горѣлкамъ, и отпирается кранъ трубки, соединяющей внутренность газометра съ тѣмъ приборомъ, въ которомъ приготовляется газъ.

На тѣхъ же началахъ устраиваются и малые газометры, употребляемые въ лабораторіяхъ. На фиг. 667-й представленъ такой приборъ, устройство кото-

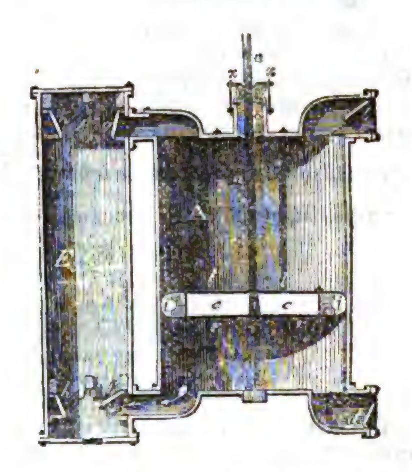
раго легко можетъ быть понято каждымъ, на основаніи всего сказаннаго нами о предшествовавшемъ газометрѣ.

§ 187. Для раздуванія огня въ печахъ, употребляемыхъ для плавленія металловъ и при обыкновенныхъ кузнечныхъ производствахъ, употребляются *мѣха* различныхъ устройствъ. Наиболѣе совершенный и наиболѣе распространенный въ настоящее время есть цилиндрическій мѣхъ, представленный на фиг. 668 и 669. Внутри чугуннаго цилиндра *A* находится плотно примы- **Мѣха.**

Фиг. 668.



Фиг. 669.



кающій къ стѣнкамъ поршень *c*, который движется внутри цилиндра кверху и книзу, при помощи стержня плотно проходящаго чрезъ отверстіе крышки цилиндра. Чрезъ отверстія *b* и *d* сообщаются съ наружнымъ воздухомъ верхняя и нижняя части цилиндра; отверстія же *g* и *f* соединяютъ внутренность цилиндра съ четыреугольнымъ ящикомъ *E*. У *b* и *d* находятся клапаны, отворяющіеся ко внутренней, а у *g* и *f* ко внѣшней сторонѣ цилиндра. Когда опускается поршень, запирается клапанъ *d* и открывается клапанъ *f*, чрезъ что весь воздухъ, заключающійся въ цилиндрѣ, проходитъ въ ящикъ *E*. Вслѣдствіе того запирается клапанъ *g* и наружный воздухъ, проникающій чрезъ клапанъ *b*, наполняетъ верхнюю часть цилиндра. При поднятіи поршня запирается клапанъ *b* и весь воздухъ, проникнувшій во время опусканія поршня въ верхнюю часть цилиндра, устремляется теперь оттуда чрезъ клапанъ *g* въ ящикъ *E*. При этомъ запирается клапанъ *f* и воздухъ снаружи устремляется въ нижнюю часть цилиндра чрезъ клапанъ *d*. Сгущенный въ ящикѣ *E* воздухъ проводится къ печи чрезъ трубку, соединяющуюся съ отверстіемъ *m*.

Скорость поршня бываетъ наибольшая въ то время, когда онъ проходитъ чрезъ средину цилиндра; она уменьшается тѣмъ болѣе, чѣмъ ближе подходитъ поршень къ верхнему и къ нижнему предѣлу своего пути. Чрезъ это струя воздуха, доставляемая такимъ цилиндромъ, не можетъ вытекать равномѣрно чрезъ отверстіе *m*. А какъ для многихъ печей, въ которыхъ производится плавленіе металловъ, необходимо имѣть струю воздуха равномѣрно вытекающую изъ ящика *E*, то и стараются уравнивать ея движеніе. Этого достигаютъ присоединеніемъ къ ящику *E* вмѣсто одного трехъ цилиндровъ, которыхъ поршни проходятъ разновременно чрезъ средины ихъ путей. Точно также уравниваютъ движеніе воздуха проводомъ его изъ *E* въ большой резервуаръ, котораго объемъ значительно превышаетъ объемъ цилиндра. Чѣмъ болѣе объемъ этого резервуара, называемаго *регуляторомъ*, тѣмъ меньшее вліяніе будетъ оказывать неправильность движенія поршня на равномѣрность воздуха, вытекающаго изъ регулятора.

Для регуляторовъ употребляютъ или шары изъ листоваго желѣза, которыхъ объемъ отъ 40 — 50 разъ значительнѣе противу объема цилиндра, или

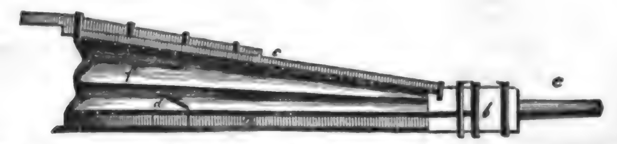
Фиг. 670.

представленный на фиг. 670-й *водяной регуляторъ*, который имѣетъ устройство подобное газометру, употребляемому для газоваго освѣщенія. Въ ящикъ *B*, котораго стѣнки состоятъ изъ плотно приложенныхъ другъ ко другу листовъ желѣза и котораго объемъ значительно превышаетъ объемъ цилиндра, проникаетъ изъ послѣдняго воздухъ чрезъ трубку *D;* воздухъ этотъ выходитъ изъ регулятора чрезъ трубку *C*. Воздухъ въ ящикѣ *B* запирается снизу поверхностію воды, которой уровень *rr* лежитъ ниже противу уровня воды *vv*, окружающей ящикъ *B* съ наружней стороны. Отъ различія высоты этихъ уровней зависитъ степень сжатія воздуха въ *B*, а слѣдовательно и самая скорость истеченія его чрезъ трубку *C*.

Перейдемъ теперь къ разсмотрѣнію *кузнечныхъ мѣховъ*.

Самый простой видъ кузнечнаго мѣха представленъ на фиг. 671. При подня-

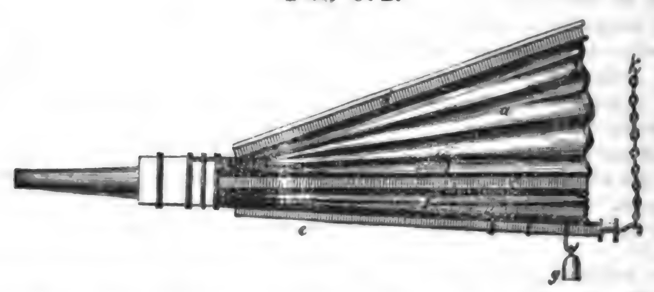
Фиг. 671.



тіи крышки *c* поднимается клапанъ *d*, запирающій отверстіе въ днѣ *a*. Вслѣдствіе того во внутренность мѣха проникаетъ воздухъ, который при опусканіи крышки выходитъ чрезъ отверстіе *e*, потому что во время опусканія крышки затворяется клапанъ *d*. Но посредствомъ такого мѣха нельзя получить непрерывной струи воздуха, что бываетъ необходимо какъ при кузнечныхъ работахъ, такъ и въ лабораторіяхъ; для этой цѣли употребляютъ сложный мѣхъ, представленный на фиг. 672. Когда верхнее отдѣленіе *a* этого



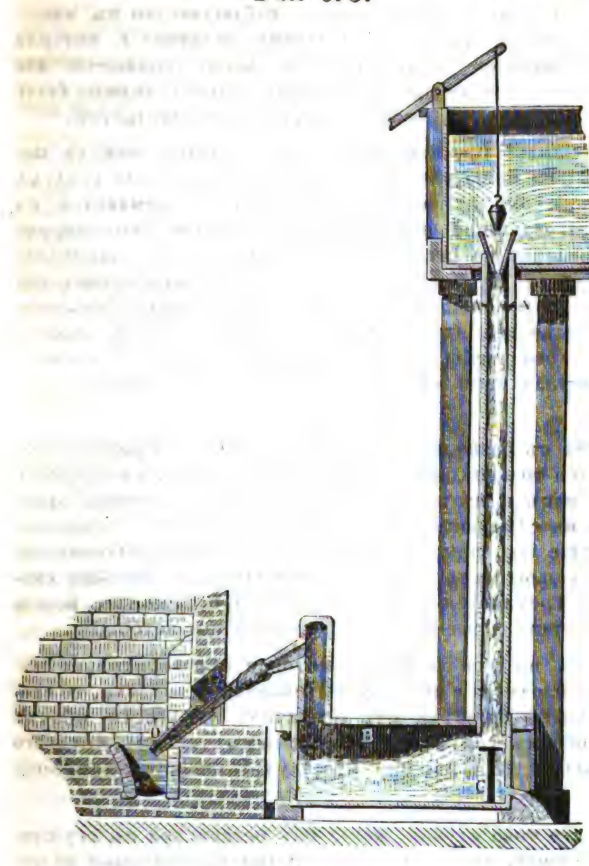
Фиг. 672.



мѣха наполнится воздухомъ, то его выпускаютъ изъ съуживающейся оконечности мѣха при помощи гирь, положенныхъ на крышку его и сжимающихъ верхнее отдѣленіе *a*. Воздухъ этотъ не можетъ проходить чрезъ отверстіе *f*, находящееся между *a* и *b*, въ томъ случаѣ, когда онъ въ верхней части *a* сжатъ сильнѣе, нежели въ нижней. Если приподнять нижнюю доску отдѣленія *b*, то воздухъ сожмется въ послѣднемъ, подниметъ клапанъ, запирающій отверстіе *f*, и проникнетъ въ верхнее отдѣленіе *a*. При опусканіи нижней доски запирается отверстіе *f*, а взамѣнъ того открывается отверстіе, сообщающее отдѣленіе *b* съ наружнымъ воздухомъ. Вслѣдствіе того *b* наполняется свѣжимъ воздухомъ, который потомъ снова переходитъ въ верхнее отдѣленіе. Понятно, что вытеканіе воздуха изъ остроконечнаго отверстія мѣха прерывается въ то время, когда *b* снова наполняется воздухомъ.

На фабрикахъ и заводахъ употребляютъ также мѣхъ, представленный на фиг. 673-й. Устройство его основано на всасываніи воздуха частицами воды. Мы знаемъ уже, что если пропустить чрезъ какое нибудь отверстіе отвѣсную струю книзу, то она вскорѣ разрывается, причемъ воздухъ естественно долженъ проникать между отдѣльными капями. — Если струя эта падаетъ въ трубкѣ, то она будетъ вбирать въ себя воздухъ, проникающій чрезъ отверстія продѣланныя въ трубкѣ. Такимъ образомъ воздухъ будетъ опускаться книзу вмѣстѣ съ падающею струею.

Фиг. 673.



Вода устремляется изъ резервуара по трубкѣ въ ящикъ *B*, закрытый сверху и имѣющій внизу отверстіе для стока воды. Падающая книзу вода всасываетъ воздухъ чрезъ отверстія *A* и увлекаетъ его съ силою въ ящикъ *B*, изъ котораго онъ выходитъ чрезъ отверстіе *D*.

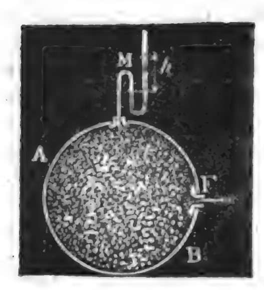
Вмѣсто мѣховъ употребляются также вентиляторы, о которыхъ мы уже говорили въ механическомъ отдѣлѣ нашей книги.

Ознакомившись съ приборами, употребляемыми для истеченія газовъ, перейдемъ къ разсмотрѣнію самыхъ законовъ ихъ истеченія.

§ 188. Скорость истеченія газовъ совершается по тѣмъ же самыхъ законамъ какъ и истеченіе жидкостей, т. е. что скорость истеченія $v = \sqrt{2gs}$, гдѣ s означаетъ высоту давленія. Послѣдняя величина не можетъ быть опредѣлена здѣсь наблюденіемъ какъ для капельножидкихъ тѣлъ. Для жидкихъ тѣлъ s означаетъ высоту столба жидкости, давленіе котораго производитъ истеченіе и который одинаковаго состава и одинаковой плотности въ вытекающею жидкостію. Законы истеченія газовъ.

Газы же, заключающіеся въ сосудѣ, никогда не сдавливаются столбомъ воздуха равномѣрной плотности и опредѣленной высоты, потому что если бы газъ былъ сдавливаемъ только давленіемъ атмосферы, то и въ этомъ случаѣ мы не могли бы взять s прямо изъ наблюденій, потому что воздушный столбъ, производящій это давленіе не можетъ имѣть ни равномѣрной плотности, ни измѣримой высоты.

Фиг. 674.



Обыкновенно же измѣряютъ давленіе, заставляющее газъ выходить изъ резервуара высотою водянаго или ртутнаго столба, наблюдаемаго въ манометрѣ *M* (фиг. 674). Поэтому величина *s*, которая вставляется въ приведенное выше уравненіе для скорости истеченія, во всякомъ случаѣ должна быть вычисленна изъ наблюденныхъ обстоятельствъ.

Самый простой случай, съ котораго можетъ начаться наше разсмотрѣніе, есть тотъ, когда воздухъ съ силою атмосфернаго давленія устремляется въ безвоздушное пространство. Среднее атмосферное давленіе въ состояніи поддерживать въ равновѣсіи столбъ воды въ 34 фута или въ 10, 4 метра. Воздухъ же, выдерживающій это давленіе, имѣетъ въ 770 разъ меньшую плотность противу воды; слѣдовательно воздушный столбъ, имѣющій эту плотность, долженъ имѣть высоту $770 \times 34 = 26180$ фута, для того чтобы поддерживать въ равновѣсіи давленіе атмосферы; поэтому для взятаго нами случая *s* будетъ равно 26180′, а $v = \sqrt{2 \cdot 34 \cdot 2618}$.

Если воздухъ устремляется въ безвоздушное пространство изъ резервуара, въ которомъ онъ сдавливается только давленіемъ полуатмосферы, то скорость истеченія будетъ одинакова какъ и въ предъидущемъ случаѣ. Причина этого обстоятельства заключается въ слѣдующемъ: хотя въ этомъ случаѣ истеченіе происходитъ только вслѣдствіе половиннаго давленія, но за то и вытекающій воздухъ имѣетъ половинную плотность противу предъидущаго. Вообще скорость, съ которою воздухъ устремляется въ безвоздушное пространство, всегда одинакова, не взирая на величину давленія производящаго это истеченіе.

Если истеченіе происходитъ въ пространствѣ, которое предварительно наполнено воздухомъ меньшей плотности противу вытекающаго воздуха, то скорость истеченія будетъ очевидно зависѣть отъ различной упругости обоихъ газовъ. Означимъ различіе обоихъ упругостей воздушнымъ столбомъ, котораго высота *h*, а плотность равна болѣе сгущенному воздуху; скорость истеченія будетъ $v = \sqrt{2gH}$.

Опредѣлимъ величину *H* для того случая, когда изъ резервуара съ сгущеннымъ воздухомъ послѣдній переходитъ въ пространство наполненное воздухомъ, сохраняющимъ обыкновенное атмосферное давленіе. Положимъ, что сгущеніе воздуха въ резервуарѣ измѣрено водянымъ столбомъ, котораго высота равна *h*. Эта высота *h* выражаетъ различіе упругостей внѣшняго и внутренняго воздуха, и надо только опредѣлить, какую высоту долженъ имѣть воздушный столбъ, одинаковой плотности съ воздухомъ въ резервуарѣ, для поддержанія въ равновѣсіи водянаго столба, имѣющаго высоту *h*. Если бы мы имѣли въ настоящемъ случаѣ воздухъ со среднимъ атмосфернымъ давленіемъ, то вмѣсто водянаго столба высоты *h*, мы могли бы взять воздушный столбъ высотою въ 770*h*. Для удержанія въ равновѣсіи того же самаго водянаго столба болѣе плотнымъ воздухомъ, мы можемъ уже имѣть воздушный столбъ меньшей высоты и очевидно тѣмъ меньшей, чѣмъ болѣе плотность его.

Атмосферный воздухъ средняго давленія, будучи въ 770 разъ легче воды, сжимается водянымъ столбомъ въ 34 фута или 10,4 метра высоты, которую мы означимъ чрезъ *b*. Воздухъ же во взятомъ нами резервуарѣ выдерживаетъ давленіе водянаго столба, имѣющаго высоту $b' + h$ въ томъ случаѣ, когда b' выражаетъ высоту водянаго столба, прямосоотвѣтствующаго состоянію барометра. Поэтому плотность воздуха средняго давленія относится къ плотности воздуха въ резервуарѣ какъ $b : b' + h$; слѣдовательно воздухъ въ резервуарѣ въ $\frac{b' + h}{b}$ разъ плотнѣе воздуха средняго атмосфернаго давленія; вмѣсто столба болѣе рѣдкаго воздуха, высотою въ 770*h*, мы получимъ столбъ плот-

нѣйшаго воздуха высотою въ $\frac{770\,h.b}{b'+h}$. Эта-то послѣдняя величина и должна быть вставлена вмѣсто H въ уравненіе $v=\sqrt{2gH}$, потому что воздушный столбъ высотою въ $\frac{770b.h}{b'+h}$ и плотность воздуха въ резервуарѣ, будутъ одинаково поддерживать въ равновѣсіи водяной столбъ высоты h. Значитъ, для взятаго нами случая, скорость истеченія будетъ $v=\sqrt{2g\frac{770b.h}{b'+h}}$.

Для полученія же количества вытекающаго воздуха, надобно помножить разрѣзъ отверстія f на величину v, предполагая при этомъ, что въ каждой точкѣ разрѣза вытекающія части воздуха проходятъ съ этою скоростію. Поэтому въ t секундъ количество вытекающаго воздуха будетъ $M=f.t\sqrt{2g\frac{770b.h}{b'+h}}$.

Но опытъ показываетъ, точно также какъ и у жидкихъ тѣлъ, что дѣйствительный расходъ истеченія воздуха бываетъ менѣе теоретическаго; такъ что для полученія дѣйствительнаго расхода должно помножить теоретическій расходъ на опредѣленный коэффиціентъ μ.

Для воды этотъ коэффиціентъ, равный 0,64, почти не зависитъ отъ высоты давленія, потому что онъ возростаетъ весьма незначительно по мѣрѣ уменьшенія высоты давленія. Для газовъ же величина его весьма перемѣнна. По изслѣдованіямъ *Шмидта*, который первый произвелъ точныя опредѣленія по этому предмету, μ при высотѣ воды въ 3 фута равно 0,52. По опытамъ же *д'Обюисона* величина μ между высотами давленій отъ 0,1 до 0,5 футовъ равна 0,65. Эти различія не должно приписывать ошибкамъ въ наблюденіяхъ, которыя были произведены со всевозможными точностями, а должно искать причину ихъ въ самой измѣняемости величины μ.

Кохъ произвелъ весьма тщательный рядъ опытовъ, изъ которыхъ оказалось, что когда высоты давленія уменьшаются отъ 6 футовъ до 0,15 футовъ, то величина μ возростаетъ отъ 0,5 до 0,6. *Буфъ* же показалъ, что когда въ уравненіи $\mu=0{,}626\,(1-0{,}789\sqrt{h})$ подставить вмѣсто h величину соотвѣтствующую высотѣ давленія, то величины, вычисленныя изъ этой формулы, подходятъ весьма близко къ наблюденіямъ *Коха*, такъ что эта формула можетъ быть принята за эмпирическій законъ для измѣненія коэффиціента истеченія μ. Опыты, произведенные Буфомъ впослѣдствіи при слабыхъ давленіяхъ, подтвердили справедливость этого заключенія.

Различіе между теоретическимъ и дѣйствительнымъ расходомъ по всей вѣроятности происходитъ отъ одной и той же причины какъ и у жидкихъ тѣлъ, и наводитъ на предположеніе, что при истеченіи газовъ должно быть также сжатіе струи, которое не можетъ быть наблюдаемо на самомъ дѣлѣ.

Цилиндрическія, точно такъ какъ и коническія приставныя трубки должны увеличивать количество вытекающаго воздуха.

Перейдемъ теперь къ разсмотрѣнію *скорости истеченія различныхъ газовъ при равномъ давленіи*.

Если въ резервуарѣ вмѣсто воздуха находится другой газъ, то очевидно, что въ уравненіе $v=\sqrt{2gH}$ вмѣсто H должно подставить другую величину вмѣсто величины опредѣленной для атмосфернаго воздуха. Величина H для газовъ измѣняется въ обратномъ отношеніи съ плотностію ихъ; для газа, котораго плотность въ n разъ болѣе плотности атмосфернаго воздуха, величина H будетъ въ n разъ менѣе. Изъ этого слѣдуетъ, что при неизмѣнности прочихъ обстоятельствъ скорости истеченія газовъ находятся въ обратномъ отношеніи квадратныхъ корней изъ ихъ плотностей. Поэтому при равномъ дав-

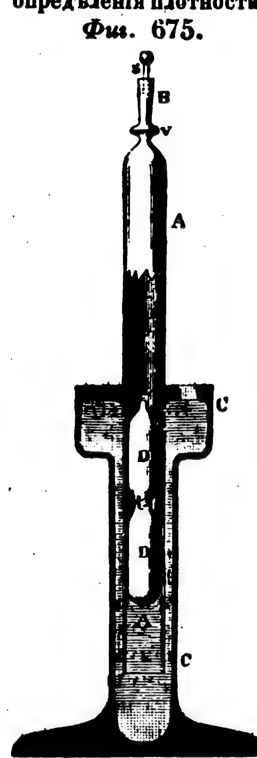


ленія напр. углекислота будетъ вытекать въ $\sqrt{1,5} = 1,2$ раза медленнѣе противу атмосфернаго воздуха, потому что углекислота въ 1,5 раза плотнѣе послѣдняго.

На этомъ основаніи плотность газа обратно пропорціональна квадрату скорости истеченія и прямо пропорціональна квадрату времени, необходимому для истеченія опредѣленнаго объема газа.

Бунзенъ придумалъ на этомъ основаніи весьма остроумный способъ для опредѣленія плотности газовъ. Для принятія изслѣдуемаго газа служитъ стеклянная трубка *A* (фиг. 675), имѣющая въ длину около 40 сантиметровъ. Въ верхней части своей она съуживается и оканчивается трубочкою *B*. Въ утолщеніи *v*, соединяющемъ трубочку *B* съ трубкою *A*, припаяна тонкая платиновая пластинка, снабженная узкимъ отверстіемъ, чрезъ которое газъ можетъ выходить изъ *A* въ то время, когда трубочка *B* не закупорена плотно стеклянною пробкою *s*. Снизу газъ запирается ртутію, которая находится въ широкомъ цилиндрѣ, уширяющемся въ верхней своей части. По закрытіи горла *B* стеклянною трубкою *s*, стеклянная трубка *A* погружается въ ртуть до тѣхъ поръ, пока верхній конецъ *r* стекляннаго поплавка *D* не будетъ находиться на одномъ уровнѣ въ сосудѣ *C*. Уровень этотъ наблюдается посредствомъ зрительной трубки, расположенной въ нѣсколькихъ шагахъ отъ прибора. Трубка *A* по погруженіи своемъ въ ртуть до указаннаго нами предѣла, удерживается въ этомъ положеніи посредствомъ особеннаго устройства. Потомъ вынимается пробка *s*; газъ начинаетъ выходить и поплавокъ *D* поднимается кверху. Тогда опредѣляютъ время, которое употребляетъ поплавокъ на поднятіе свое до тѣхъ поръ, пока черта *t*, проведенная въ съуженной части его, не поровняется съ уровнемъ ртути въ сосудѣ *C*. Если однимъ и тѣмъ же приборомъ произвести сряду два подобныя опредѣленія надъ двумя различными газами, то найдемъ, что удѣльные вѣса ихъ будутъ относиться между собою какъ квадраты наблюденныхъ временъ истеченія. Для объясненія сказаннаго нами могутъ служить слѣдующія, произведенныя Бунзеномъ, измѣренія. Для поднятія поплавка *D* на высоту *rt* было необходимо:

Фиг. 675.

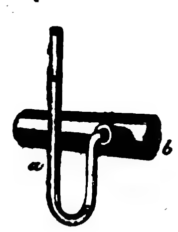


для атмосфернаго воздуха	для ударнаго воздуха
117,9 секундъ	75,4 секундъ
117 »	75,8 »
117,9 »	75,6 »
117,6 секундъ	75,6 секундъ.

Для полученія точнѣйшихъ результатовъ были произведены многократные опыты надъ каждымъ газомъ. Изъ различныхъ результатовъ была взята средняя величина. Изъ этихъ измѣреній, при которыхъ за единицу былъ взятъ воздухъ, удѣльный вѣсъ ударнаго воздуха $\frac{75,6^2}{117,6^2} = 0,413$ соотвѣтствовалъ удѣльному вѣсу этого газа, вычисленному изъ удѣльныхъ вѣсовъ кислорода и водорода.

§ 189. На практикѣ опредѣленіе скорости истеченія воздуха изъ обыкновенныхъ кузнечныхъ мѣховъ производится посредствомъ стеклянной трубки *a* (фиг. 676), на поверхности которой проведены чернымъ лакомъ дѣленія. Трубка эта вставляется посредствомъ пробки въ горло мѣха съ боку и наливается водою, по положенію которой, относительно дѣленій, можно судить о количествѣ выходящаго изъ мѣха воздуха. Если вода остается на одной высотѣ, то значитъ, что воздухъ устремляется равномѣрно изъ мѣха. Опредѣленіе скорости истеченія.

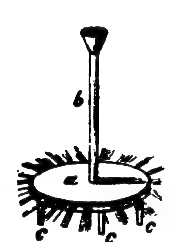
Фиг. 676.



§ 190. Перейдемъ теперь къ разсмотрѣнію *боковаго* давленія, происходящаго при истеченіи газовъ. Боковое давленіе.

Возмемъ круглую пластинку *a* (фиг. 677) съ просверленнымъ по срединѣ отверстіемъ, въ которомъ утверждается открытая съ обоихъ концовъ трубка *b*. Къ пластинкѣ прикрѣплены три подставки *c c c*, которыя просовываются черезъ три соотвѣтственныя отверстія другой пластинки, лежащей непосредственно подъ *a*. Послѣдняя пластинка, предоставленная самой себѣ, упадетъ книзу; но если дуть въ трубку, то обѣ пластинки удерживаются въ близкомъ разстояніи между собою, пропуская воздухъ въ стороны, тогда какъ, повидимому, слѣдовало бы ожидать противнаго. Причина этого явленія заключается въ слѣдующемъ. Хотя воздухъ и сгущается въ трубкѣ *b*, но по удаленіи своемъ въ стороны, приходитъ тотчасъ же въ разрѣженное состояніе; вслѣдствіе чего атмосферный воздухъ оказываетъ давленіе снизу, большее противу давленія разрѣженнаго воздуха съ верхней стороны.

Фиг. 677.



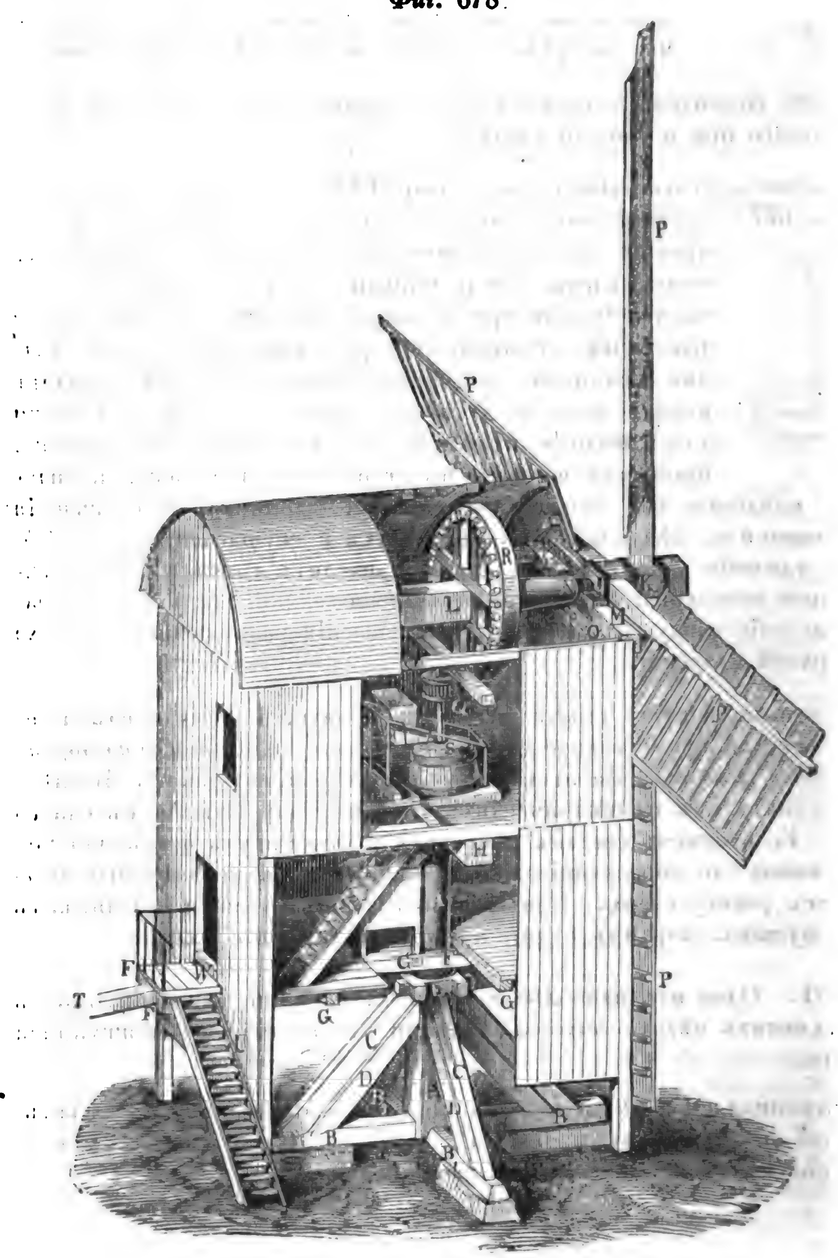
На основаніи этого опыта не трудно понять, почему послѣ истеченія воздуха чрезъ всякое отверстіе, *противуположная ему сторона получаетъ толчокъ*. На этомъ основано устройство ракетъ. Послѣднія состоятъ изъ цилиндрическихъ трубокъ, закрытыхъ съ одного конца. Если зажечь составъ въ ракетѣ и опрокинуть открытый конецъ книзу, то образующіеся газы, вытекая изъ послѣдняго, поднимаютъ ракету кверху. При выстрѣлахъ изъ ружей и орудій, какъ напр. пушекъ, мортиръ и др., представляется тоже явленіе.

§ 191. Одно изъ наиболѣе встрѣчаемыхъ нами движеній газовъ принадлежитъ вѣтру, который есть ни что иное, какъ движущійся воздухъ. Вѣтреныя мельницы.

Двигающая сила вѣтра можетъ передаваться различнымъ тѣламъ, представляющимъ ему преграды, какъ напр. парусными судамъ, вѣтреннымъ мельницамъ и др. предметамъ.

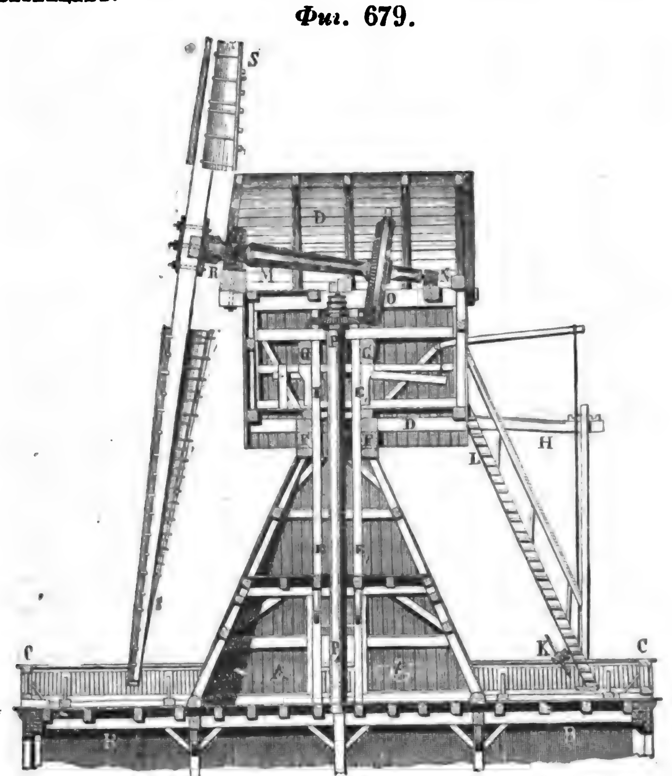
Главнѣйшее устройство частей вѣтренныхъ мельницъ представлено на фиг. 678, изображающей такъ называемую *нѣмецкую мельницу*, горизонтальная ось *KL* обыкновенно располагается по направленію вѣтра; для этого поворачиваютъ всю мельницу посредствомъ рычага *T*. Къ оси прикрѣплены четыре крестообразно расположенные бруса *P,P,P,P*, составляющіе основу для крыльевъ. Если бы плоскость крыльевъ была перпендикулярна къ направленію оси *KL*, т. е. перпендикулярна къ направленію вѣтра, то очевидно, что дѣйствіе послѣдняго ограничивалось бы только однимъ давленіемъ; при параллельности плоскости крыльевъ къ оси *KL*, они получали бы весьма слабое дѣйствіе вѣтра

Фиг. 678.



и по прежнему не въ состояніи бы были производить вращенія вала. Послѣднее можетъ происходить только въ томъ случаѣ, если крылья будутъ имѣть наклонное положеніе къ *KL*. Ось при своемъ вращеніи приводитъ въ движеніе соединенное съ нею колесо *L*, которое посредствомъ колеса *Q* производитъ вращеніе мельничнаго камня *S*. Дальнѣйшее дѣйствіе мельницы можетъ быть объяснено легко послѣ того, что мы сказали объ этомъ предметѣ при водяныхъ мельницахъ.

Фиг. 679.



Какъ изъ наблюденій извѣстно, что вѣтеръ дуетъ подъ извѣстнымъ угломъ къ поверхности земли, то и самой оси выгоднѣе давать наклонное положеніе, какъ это видно изъ фиг. 679, представляющей такъ называемую *голландскую мельницу*.

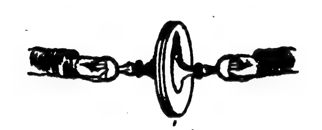
Притяженіе на безконечно маломъ разстояніи.

§ 192. Желая отдѣлить частицы какого нибудь тѣла другъ отъ друга, мы встрѣчаемъ обыкновенно большее или меньшее сопротивленіе нашимъ усиліямъ. Это-то сопротивленіе и убѣждаетъ насъ въ существованіи между частицами тѣлъ особенной силы, удерживающей частицы во взаимной связи, и называемой, какъ мы уже говорили въ § 10, *сцѣпленіемъ*. Понятіе о сцѣпленіи.

По ближайшемъ разсмотрѣніи мы убѣдимся, что особенное свойство этой силы заключается въ дѣйствіи ея на самомъ *незначительномъ* или, лучше сказать, *безконечно маломъ* разстояніи, которое не можетъ быть измѣрено ни нашими чувствами, ни имѣющимися у насъ средствами. И въ самомъ дѣлѣ, разломивъ кусокъ дерева, металла или стекла и приложивъ потомъ со всею тщательностію изломы другъ къ другу, мы никогда не будемъ въ состояніи сблизить ихъ на такое разстояніе, которое необходимо для того, чтобы частицы могли притягиваться съ достаточною силою. Но если раздѣленныя поверхности выровнять и отполировать, такъ чтобы онѣ въ точности приставали другъ къ другу, то по наложеніи ихъ одну на другую и по сдавливаніи ихъ, прикасающіяся частицы весьма часто сцѣпляются такъ крѣпко между собою, что скорѣе можно разломить, чѣмъ разъединить сближенныя между собою части.

Въ справедливости этого лучше всего можно убѣдиться, приложивъ другъ къ другу двѣ тщательно выполированныя доски изъ стекла, металла или мрамора (фиг. 680). Если положить между этими досками самый тончайшій листочекъ бумаги, то уже не произойдетъ сцѣпленія досокъ. Свинцовая пуля, разрѣзанная на двѣ части, представляетъ также обнаруженіе сцѣпленія, если приложить другъ къ другу разъединенныя поверхности и сдавить ихъ крѣпко между собою, то для разъединенія этихъ частей должно привѣсить къ одной изъ половинъ пули грузъ въ нѣсколько фунтовъ.

Фиг. 680.



Тѣла, которыхъ частицы легко подвижны, могутъ быть приведены въ весьма близкое прикосновеніе, позволяющее имъ легко возстановлять утраченную связь частицъ: самый обыкновенный примѣръ того представляютъ намъ двѣ капли воды. Свойствомъ этимъ пользуются для соединенія разъединенныхъ частей твердыхъ тѣлъ; для этого во многихъ случаяхъ приводятъ твердыя тѣла въ мягкое состояніе и потомъ подвергаютъ ихъ сильному давленію; такимъ образомъ сцѣпляются между собою кусочки воску, точно также куски желѣза или платины, приводятся нагрѣваніемъ въ мягкое состояніе и потомъ *свариваются* или ударами молотовъ, или пропусканіемъ чрезъ вальки. Тамъ же, гдѣ нельзя употреблять подобнаго способа, т. е. прибѣгать предварительно къ размягченію тѣлъ, помѣщаютъ между изломами слой какой нибудь жидкости, которая по удободвижимости своей занимаетъ пустые промежутки между частицами изломанныхъ тѣлъ и по отверденіи своемъ возстановляетъ связь въ изломахъ. На этомъ основано спаиваніе металловъ, склеиваніе дерева и т. п. производства. Для спаиванія изломовъ металла впускаютъ между разъединенными частями слой другаго, легкоплавкаго металла, который по охлажденіи своемъ сцѣпляетъ ихъ снова. Такимъ образомъ латунь сцѣпляется оловомъ, а серебро — смѣсью изъ серебра и мѣди.

Мы сказали, что сила сцѣпленія дѣйствуетъ на безконечно маломъ разстояніи, но не должно подъ этимъ подразумѣвать непосредственнаго прикосновенія частицъ. Явленія упругости показываютъ намъ, что сила сцѣпленія сохраняется между частицами и на извѣстномъ разстояніи, имѣющемъ для каждаго тѣла свой предѣлъ, который бываетъ болѣе для такъ называемыхъ упругихъ и менѣе для такъ называемыхъ неупругихъ тѣлъ. Различныя явленія, представляемыя силою сцѣпленія, приводятъ къ предположенію, что сфера дѣйствія этой силы для каждой частицы должна быть гораздо болѣе размѣровъ послѣдней, такъ что дѣйствіе одной частицы простирается на цѣлую группу сосѣднихъ частицъ.

Что же касается до напряженія, съ которымъ дѣйствуетъ сила сцѣпленія въ каждой частицѣ, то мы можемъ сказать только, что оно не слѣдуетъ закону квадратовъ разстояній, потому что при самомъ ничтожномъ, нечувствительномъ разстояніи, дѣйствіе сцѣпленія становится вовсе незамѣтнымъ.

Говоря о силѣ сцѣпленія, мы не должны упускать изъ виду, что эта сила въ каждомъ тѣлѣ дѣйствуетъ вмѣстѣ съ отталкивающею силой, стремящейся къ разъединенію частицъ, и что отъ взаимнаго отношенія этихъ силъ — сцѣпленія и отталкиванія — зависитъ самое различіе состояній скопленія тѣлъ.

Какъ твердыя тѣла при обыкновенномъ состояніи не измѣняютъ ни формы, ни объема, то и заключаютъ, что въ твердыхъ тѣлахъ, при обыкновенномъ расположеніи частицъ, обѣ эти силы должны находиться въ равновѣсіи. Съ допущеніемъ же этого предположенія невольно возникаетъ вопросъ: почему же частицы, такъ называемыхъ, твердыхъ тѣлъ противятся разъединяющей ихъ внѣшней силѣ болѣе частицъ тѣлъ другихъ состояній скопленія. Для объясненія этого противорѣчія приписываютъ трудность разъединенія частицъ твердыхъ тѣлъ тому, что частицы ихъ притягиваются между собою по различнымъ направленіямъ съ различною силою, которая зависитъ по всей вѣроятности какъ отъ формы, такъ и отъ взаимнаго разстоянія частицъ. Въ пользу этого предположенія говорятъ явленія кристаллизаціи.

§ 193. Одно изъ важнѣйшихъ свойствъ силы сцѣпленія заключается въ томъ, что она въ извѣстныхъ случаяхъ, при переходѣ тѣлъ изъ жидкаго состоянія въ твердое, стремится къ правильному размѣщенію другъ возлѣ друга малѣйшихъ частицъ матеріи, и вслѣдствіе того, получаются тѣла, ограниченныя правильными боками, ребрами и углами. Такая форма тѣлъ называется *кристаллами*, а самое явленіе *кристаллизаціею*. Кристаллизація.

Слово кристаллъ имѣетъ греческое начало (κρυος) и было первоначально употреблено для означенія льда, а потомъ прозрачнаго окаменѣлаго тѣла (κρυσταλλος); этимъ словомъ называли также горный хрусталь; древніе принимали его за сильно замерзнувшій ледъ, который по ихъ мнѣнію не могъ уже растаять. Позже стали называть

кристаллами прозрачныя неорганическія тѣла, правильно образованныя, отъ чего произошло даже извѣстное выраженіе *чистъ какъ кристаллъ*; въ настоящее время слово кристаллъ употребляется, какъ мы сказали выше, въ гораздо обширнѣйшемъ смыслѣ и равно принимается какъ для прозрачныхъ, такъ и непрозрачныхъ симметрическихъ тѣлъ, обладающихъ правильными формами.

Въ природѣ мы встрѣчаемъ множество готовыхъ кристалловъ, примѣромъ которыхъ могутъ служить наиболѣе встрѣчаемыя и употребительнѣйшія тѣла: поваренная соль, представляющаяся въ видѣ кубовъ, квасцы въ видѣ октаедровъ и многія другія. Но тѣже самыя тѣла могутъ быть получены, посредствомъ различныхъ процессовъ, искусственнымъ образомъ. Изслѣдуя образованіе искусственныхъ кристалловъ, мы можемъ вывести общіе законы, по которымъ совершается кристаллизація, непосредственно происходящая вслѣдствіе силы сцѣпленія.

Опытъ показываетъ намъ, что сила сцѣпленія для каждаго тѣла при извѣстныхъ обстоятельствахъ, дѣйствуетъ одинаковымъ образомъ или, говоря другими словами, по неизмѣннымъ законамъ. — Понятно, что вслѣдствіе того частицы, покоряющіяся силѣ сцѣпленія, должны располагаться при извѣстныхъ условіяхъ одинаковымъ образомъ. Мы же знаемъ, что дѣйствіе частичныхъ силъ совершается на безконечно маломъ разстояніи, слѣдовательно, для того, чтобы частицы могли покоряться силѣ сцѣпленія, онѣ должны находиться въ возможно близкомъ прикосновеніи между собою. — Поэтому, чтобы разъединенныя частицы какого нибудь вещества могли безпрепятственно покоряться силѣ сцѣпленія, необходимы два слѣдующія условія:

1) *онѣ должны быть легко подвижны*, и

2) *при слѣдованіи дѣйствію частичныхъ силъ не должны встрѣчать никакихъ препятствій.*

Свободною подвижностію, какъ мы уже знаемъ, обладаютъ тѣла только въ жидкомъ состояніи. Поэтому частицы твердаго тѣла могутъ принимать кристаллическое состояніе удобнѣе всего въ томъ случаѣ, если какимъ нибудь образомъ можно привести ихъ въ жидкое состояніе. Приведеніе въ жидкое состояніе достигается или чрезъ раствореніе въ какой нибудь капельной жидкости, которую называютъ въ этомъ случаѣ *растворяющимъ средствомъ*, или чрезъ нагрѣваніе; въ послѣднемъ случаѣ бываетъ необходимо или расплавить тѣло, какъ напр. сѣру и металлы, или наконецъ привести тѣло въ газообразное состояніе, какъ напр. іодъ.

Кристаллизованіе изъ растворовъ извѣстно подъ названіемъ кристаллизованія *мокрымъ путемъ*, въ отличіе отъ кристаллизованія *сухимъ путемъ*, имѣющимъ мѣсто при переходѣ изъ расплавленнаго состоянія въ твердое. Если же для кристаллизованія тѣло превращается въ пары, какъ напр. іодъ, то этотъ способъ называется *кристаллизованіемъ возгонкою.*

Образованіе кристалловъ происходитъ при самомъ переходѣ изъ жидкаго въ твердое состояніе и только тогда именно, когда будетъ устранена причина противящаяся сцѣпленію; при чемъ опытъ показываетъ слѣдующее замѣчательное свойство, что кристаллы *вообще* образуются въ томъ случаѣ, когда тѣла *прямо* переходятъ изъ жидкаго въ твердое состояніе не густѣя.

Устраненіе причины, противящейся сцѣпленію, достигается различными образами.

При кристаллизаціи мокрымъ путемъ вещество, въ которомъ растворено тѣло, удаляется:

1) или чрезъ выпариваніе, или чрезъ испареніе на воздухѣ; такимъ образомъ получаются изъ растворовъ кристаллы поваренной соли и квасцовъ.

2) Растворенныя вещества переходятъ въ кристаллическое состояніе въ томъ случаѣ, если отнимать у нихъ медленно растворяющее вещество; для удовлетворенія этому условію, прибавляютъ къ раствору новаго вещества, образующаго съ растворяющимъ веществомъ такое соединеніе, въ которомъ не можетъ уже растворяться выдѣляемое тѣло; такъ напр. селитра кристаллизуется въ растворѣ воды, къ которому прилито спирту; камфора, растворенная въ винномъ спиртѣ, кристаллизуется, если прилить къ раствору воды.

3) Растворенное вещество можетъ кристаллизоваться въ томъ случаѣ, если удалять изъ раствора медленно растворяющее вещество посредствомъ гальваническаго тока, о которомъ мы будемъ говорить въ статьѣ о гальванизмѣ.

При кристаллизаціи сухимъ путемъ прибѣгаютъ къ помощи *охлажденія*, такъ напр. получаются кристаллы сѣры, если охлаждать сплавленную массу до тѣхъ поръ, пока не образуется на поверхности ея кора; если пробить эту кору и вылить прочь находящуюся подъ ней жидкость, то на нижней, обращенной къ сосуду, сторонѣ коры получается большое количество мелкихъ кристалловъ сѣры. Подобнымъ же образомъ поступаютъ при кристаллизованіи металловъ. Если не вылить жидкость, находящуюся подъ корою, то получаются только весьма малые кристаллы, потому что кристаллы, образовавшіеся въ этомъ случаѣ при самомъ началѣ застыванія, препятствуютъ свободному движенію частицъ; полученные такимъ образомъ мелкіе кристаллы осаждаются въ промежуткахъ между прежде образовавшимися кристаллами и дѣлаютъ незамѣтными ихъ кристаллическія формы.

Переходъ воды въ ледъ происходитъ, какъ извѣстно, отъ уменьшенія теплоты; при чемъ на поверхности воды показывается множество тонкихъ, правильно сложенныхъ иглъ, которыя располагаются другъ къ другу подъ углами въ 60° или 120°; это замѣчается на стеклѣ, покрытомъ паромъ и преимущественно на хлопьяхъ снѣга, которые падаютъ отдѣльно при тихой погодѣ на какое нибудь черное тѣло, котораго температура ниже 0° Р.

Вещества, растворяющіяся въ нагрѣтой жидкости въ большемъ количествѣ нежели въ холодной, кристаллизуются, когда дать охладить-



ся насыщенному ими теплому раствору; такъ получаются кристаллы селитры, если растворить ее въ кипяткѣ въ такомъ количествѣ, которое можетъ въ немъ раствориться, и если потомъ охладить медленно растворъ.

Изложивъ главнѣйшія средства для образованія кристалловъ, перейдемъ теперь къ разсмотрѣнію тѣхъ предосторожностей, которыя должны быть наблюдаемы при каждомъ изъ нихъ.

Какимъ бы образомъ не совершался переходъ частицъ въ твердое состояніе, для полученія большихъ кристалловъ необходимо, чтобы переходъ этотъ не совершался быстро, а какъ можно медленнѣе. При быстромъ охлажденіи или выпариваніи образуется много твердыхъ частицъ за разъ; онѣ мѣшаютъ другъ другу слѣдовать влеченію силы частичнаго притяженія, почему и образуются только весьма малые или несовершенные кристаллы, такъ что симметрическій видъ мелкихъ частицъ можетъ быть обнаруженъ только при помощи сильно увеличеннаго стекла. Самые совершенные кристаллы получаются въ томъ случаѣ, если предоставленный самому себѣ растворъ испаряется медленно, въ продолженіи нѣсколькихъ недѣль, и притомъ въ совершенно спокойномъ состояніи.

Есть много тѣлъ, которыя при переходѣ въ твердый видъ, не кристаллизуются, но представляются въ безформенномъ (аморфномъ) видѣ; при чемъ получаютъ тѣло обладающее свойствомъ стекла, которое даетъ въ изломѣ кривыя, неправильныя поверхности; въ этомъ случаѣ говорятъ, что тѣла представляютъ *раковистый* изломъ. Къ числу такихъ тѣлъ относятъ стекло и многія смолы.

Средства, споспѣшествующія охлажденію или испаренію, ускоряютъ также и кристаллизованіе; какъ напр. мѣшаніе, движеніе воздуха и всякія другія движенія. Если жидкость близка къ образованію кристалловъ, то часто слабый толчокъ можетъ служить поводомъ къ началу образованія кристалловъ. Если въ растворъ, близкій къ кристаллизованію, положить готовые кристаллы или какія нибудь другія твердыя тѣла, то они образуютъ центръ притяженія для находящихся въ жидкости растворенныхъ частицъ и способствуютъ также образованію кристалловъ.

Если въ насыщенный растворъ поваренной соли положить готовый кристаллъ этой соли, то онъ тотчасъ начинаетъ увеличиваться, если бы даже до того не было замѣтно кристаллизованія; онъ можетъ даже значительно увеличиться, если будемъ держать растворъ соли постоянно насыщеннымъ.

Если растворить 2 части селитры и 3 части глауберовой соли въ 5 частяхъ горячей воды и наполнить растворомъ до верху двѣ стклянки, то по погруженіи въ одну стклянку кристалла селитры, а въ другую кристалла глауберовой соли и по охлажденіи обѣихъ стклянокъ въ водѣ со льдомъ, въ первой осядетъ только селитра, а во второй только глауберова соль.

Изъ сказаннаго очевидно, почему образованіе кристалловъ начинается сперва на поверхности, потомъ на стѣнкахъ и на днѣ, и потомъ уже по срединѣ массы.

Многія вещества, кристаллизующіяся изъ воднаго раствора, принимаютъ въ себя опредѣленное количество воды, которая соединяется съ ними химически. Вода эта, имѣющая большое вліяніе на форму кристалловъ и часто сообщающая имъ прозрачность, цвѣтъ и крѣпость, называется *кристаллизаціонною водою.* Нѣкоторые кристаллы содержатъ значительное количество такой воды, какъ напр. квасцы, глауберова соль; другія вовсе не имѣютъ ея, какъ напр. поваренная соль, селитра; у другихъ же содержаніе воды различно, смотря потому, образовались ли они скоро изъ горячей жидкости, или выдѣлялись изъ медленно охлаждавшейся.

Многіе кристаллы, какъ напр. глауберова соль, желѣзный купоросъ, теряютъ въ сухомъ воздухѣ, даже при обыкновенной температурѣ, кристаллизаціонную воду всю или частію; вслѣдствіе этой потери пропадаетъ ихъ правильный видъ и они распадаются въ мучнистую массу. Это явленіе называютъ *вывѣтриваніемъ*. Отъ дѣйствія жара такіе кристаллы растворяются въ кристаллизаціонной водѣ и снова переходятъ въ твердый видъ при испареніи этой воды; послѣ чего могутъ быть сплавлены только въ весьма сильномъ жару. Изъ нѣкоторыхъ кристалловъ можетъ быть отдѣлена кристаллизаціонная вода только при высшей температурѣ; если потомъ привести ихъ въ прикосновеніе съ водою, то они быстро соединяются съ послѣднею и отвердѣваютъ.

Кристаллическій гипсъ попадается часто въ природѣ различной твердости и чистоты, въ видѣ гипса, селенита, алебастра; чтобы обжечь гипсъ и селенитъ, т. е. чтобы отнять у нихъ кристаллизаціонную воду и чрезъ то доставить имъ бѣлый цвѣтъ и легкую растираемость, нужна по крайней мѣрѣ температура 96° Р. Если истолочь обожженный гипсъ, просѣять и потомъ смѣшать съ водою, то получимъ тѣсто, которое отвердѣваетъ въ короткое время. Поэтому его употребляютъ для обмазыванія потолковъ, для карнизовъ и замаски щелей; но въ сырыхъ мѣстахъ гипсовый цементъ теряетъ свою связывающую силу. Гипсовое тѣсто можно выливать въ формы и такимъ образомъ употреблять для приготовленія камнеподобныхъ массъ. При отвердѣніи гипса образуется безчисленное множество небольшихъ кристаллическихъ зеренъ и увеличивается объемъ его массы; вслѣдствіе чего онъ выполняетъ совершенно всѣ мельчайшія углубленія формы, въ которую вылитъ, и поэтому оказываетъ большую услугу при изготовленіи статуй, медалей и формъ для отливки металловъ. Гипсовый мраморъ (штукатурка) состоитъ изъ мелко просѣяннаго гипса, смѣшаннаго съ водою, въ которой распущенъ клей и та краска, которую хотятъ придать мрамору.

Большія кристаллическія массы содержатъ иногда также механически примѣшанную воду, какъ это можно встрѣтить въ горномъ хрусталѣ, въ топазахъ и аметистахъ. Если быстро нагрѣть такіе кристаллы, то вода обращается въ пары, упругость которыхъ иногда разрываетъ кристаллы на куски.

Есть также кристаллы, которые оказываютъ такое сильное притяженіе къ находящимся въ воздухѣ парамъ, что сгущаютъ ихъ въ капельножидкую воду, поглощаютъ послѣднюю въ себя и расплываются. Кристаллы, которые хотятъ сохранить отъ расплыванія и вывѣтриванія, должно сохранять въ терпентинномъ маслѣ.



Жидкость, оставшаяся по окончаніи образованія кристалловъ, называется *маточнымъ растворомъ* или *разсоломъ*. Послѣдній заключаетъ въ себѣ кристаллическое вещество въ такомъ количествѣ, сколько можетъ раствориться въ ней при существующей температурѣ; кромѣ того маточный растворъ содержитъ въ себѣ и некристаллизующіяся части, а часто также и другія вещества, которыя растворяются въ ней легче противу кристаллизующагося тѣла. Часть маточнаго раствора пристаетъ механически къ кристалламъ и тѣмъ болѣе, чѣмъ кристаллы значительнѣе; отъ присоединенія маточнаго раствора кристаллы грязнятся и часто дѣлаются негодными для употребленія. Чтобы помѣшать этому приставанію маточнаго раствора, препятствуютъ образованію большихъ кристалловъ встряхиваніемъ и мѣшаніемъ жидкости. Для полученія чистыхъ кристалловъ повторяютъ кристаллизованіе (перекристаллизовываютъ): для этого кристаллы растворяютъ и потомъ даютъ имъ снова выкристаллизоваться.

Опытъ показываетъ, что вещества въ кристаллическомъ состояніи всегда тверже, нежели въ аморфномъ, такъ напр. глиноземъ въ сафирѣ; поэтому кристаллическія вещества всегда растворяются труднѣе, противу тѣхъ же веществъ въ аморфномъ состояніи, такъ кристаллическій сахаръ плавится при 128° Р., аморфный же между 72° и 80° Р.

Тѣла, кристаллизующіяся сухимъ путемъ, дѣлаются хрупкими, какъ напр. металлы, вслѣдствіе чего они легко раздробляются подъ ударами молота. Нѣкоторыя вещества чрезъ кристаллизованіе дѣлаются прозрачными и нерѣдко претерпѣваютъ измѣненіе цвѣта.

Въ нѣкоторыхъ твердыхъ тѣлахъ, безъ измѣненія состоянія скопленія и безъ измѣненія состава, происходитъ постепенное измѣненіе въ расположеніи мельчайшихъ частицъ, такъ что онѣ переходятъ изъ аморфнаго состоянія въ кристаллическое или измѣняютъ свое кристаллическое сложеніе въ другое.

Если растворить сахаръ въ водѣ и выпарить до того, чтобы можно было вытягивать его въ нити, то при отверденіи онъ переходитъ въ аморфное состояніе и принимаетъ видъ стекла, какъ мы можемъ это видѣть въ леденцѣ; со временемъ сахаръ снова становится непрозрачнымъ и кристаллизуется внутри. Призматическій аррагонитъ распадается при нагрѣваніи на множество ромбоедрическихъ кристалловъ. Желѣзныя оси экипажныхъ колесъ, отъ частаго сотрясенія, со временемъ кристаллизуются внутри, а потому дѣлаются хрупкими и легко ломаются. Если обложить стекло гипсомъ и пескомъ и долго держать въ печи раскаленнымъ, не доводя впрочемъ его до сплавленія, то оно получаетъ кристаллическое сложеніе, дѣлается непрозрачнымъ и до того твердымъ, что даетъ искры объ сталь; такое стекло, по имени изобрѣтателя, называется *реомюровымъ фарфоромъ*. Его употребляютъ для ступокъ и т. п.

Правильное расположеніе частицъ при образованіи кристалловъ, имѣетъ слѣдствіемъ не только одинъ внѣшній правильный или симметрическій видъ, но сопровождается также слѣдующимъ замѣчательнымъ свойствомъ. Каждый кристаллъ легко раздѣляется по извѣстнымъ плоскостямъ; полученныя чрезъ это дѣленія поверхности

бываютъ ровны, гладки и блестящи; ихъ называютъ *раздѣляющими поверхностями* или просто *листьями кристалла*, направленія же этихъ поверхностей — *листопрохожденіями*. Въ каждой раздѣляющей поверхности находится безконечное множество параллельныхъ плоскостей. Въ нѣкоторыхъ кристаллахъ, какъ напр. въ слюдѣ, селенитѣ, можно получить пластинки только по одному направленію, вслѣдствіе чего кристаллъ раздѣляется на чрезвычайно тонкіе листы; другіе же кристаллы могутъ быть раздѣляемы по многимъ направленіямъ, такъ напр. кристаллъ поваренной соли раздѣляется на множество кубовъ.

Отдѣленіе листьевъ отъ кристалла можетъ быть удобно произведено острымъ ножемъ.

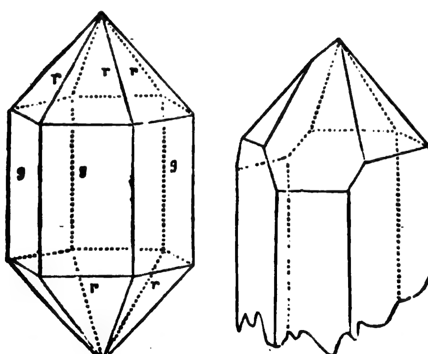
Откалывая ножемъ листы отъ кристалла, мы наконецъ дойдемъ до простой формы, называемой *ядромъ кристалла*.

Каждому веществу принадлежитъ особенная кристаллическая форма, такъ напр. кристаллическая форма горнаго хрусталя отлична отъ кристаллической формы квасцовъ, а послѣдніе, въ свою очередь, имѣютъ другую форму противу купороса и т. д.

Изслѣдованіе законовъ симметріи существующей между отдѣльными кристаллическими поверхностями, равно какъ и описаніе кристаллическихъ формъ вообще составляетъ предметъ *кристаллографіи*, но какъ наружный видъ кристалловъ находится въ тѣсной зависимости съ физическими свойствами тѣлъ, то мы считаемъ необходимымъ дать здѣсь хотя краткія понятія о законахъ симметріи.

Изслѣдывая два кристалла одного и того же вещества, мы конечно не встрѣтимъ совершеннаго равенства или, говоря другими словами, геометрической точности въ ихъ наружномъ видѣ. Такъ наприм. кристаллы кварца попадаются въ совершенно правильномъ видѣ (фиг. 681), но весьма часто они встрѣчаются въ формѣ, представленной на фиг. 682, а иногда даже еще болѣе уклоняются отъ нормальнаго типа (фиг. 681). Но какъ бы ни были разнообразны кристаллы кварца, всякій, даже мало опытный глазъ можетъ замѣтить въ каждомъ изъ нихъ слѣды основнаго типа, заключающагося въ 6-ти сторонней призмѣ, съ 6-ти стороннею пирамидою по концамъ; эти пирамиды не всегда бываютъ образованы совершенно одинаково, не всегда онѣ лежатъ въ равномъ удаленіи отъ геометрическаго центра кристалловъ. При взглядѣ на образцы углекислой извести, собранные въ различныхъ странахъ земнаго шара, незнакомый съ законами кристаллографіи будетъ пораженъ разнообразіемъ формъ представляющихся его взгляду и конечно ему не придетъ въ голову, чтобы эти формы могли служить для отличія этого минерала отъ другихъ, тѣмъ болѣе, что нѣкоторые кристаллы углекислой извести скорѣе схожи съ другими минералами, нежели между собою. Но для минералога всѣ эти разнообразныя формы суть ни что иное какъ разныя одежды, отличающіяся наружными формами, а не существеннымъ характеромъ, одежды, въ которыя облачается постоянно одинъ и тотъ же предметъ. И въ самомъ дѣлѣ, по внима-

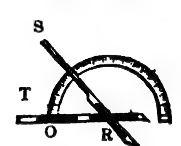

Фиг. 681. *Фиг.* 682.



тельномъ разсмотрѣніи, не взирая на всѣ эти неправильности, углы, соотвѣтствующіе опредѣленнымъ плоскостямъ, всегда бываютъ одинаковы для всѣхъ кристаллическихъ видоизмѣненій одного и того же тѣла: такъ напр. уголъ, заключающійся между двумя сторонами призмы въ горномъ хрусталѣ, всегда равенъ 120°. Законъ этотъ открылъ еще въ прошломъ столѣтіи французскій ученый *Ромъ Делиль*.

Основываясь на этомъ законѣ, справедливость котораго подтверждена многочисленными наблюденіями, для точнаго изученія формы кристалловъ необходимо измѣрять двугранные углы ихъ. Для этого измѣренія употребляютъ приборы называемые *гоніометрами* или *угломѣрами*, изъ которыхъ самый простой и наиболѣе употребительный представленъ на фиг. 683.

Фиг. 683.



Онъ состоитъ изъ раздѣленнаго на градусы полукруга, около центра котораго движутся двѣ линейки — *RO*, имѣющая поступательное движеніе взадъ и впередъ и *RS*, вращающаяся на оси *R*. Линейки эти, снабженныя по срединѣ вырѣзами, позволяющими по произволу укорачивать и удлинять ихъ относительно центра полукруга, нажимаются винтами. Для измѣренія угла кристалла прикладываютъ послѣдній одною гранью къ линейкѣ (имѣющей поступательное движеніе) къ самому центру полукруга и вращаютъ вторую линейку до тѣхъ поръ, пока она не коснется до другой грани угла. Конецъ вращающейся линейки укажетъ на дугѣ величину опредѣляемаго угла.

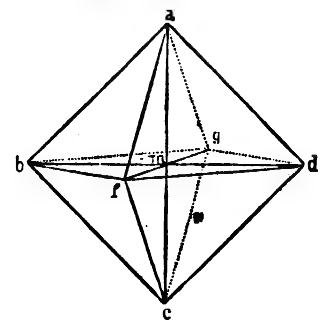
Когда описываютъ или изображаютъ на рисункѣ кристаллическую форму какого нибудь тѣла, то не обращаютъ вниманіе на всѣ отклоненія и разсматриваютъ всѣ соотвѣтствующія плоскости въ равномъ удаленіи отъ центра кристалла. Такой видъ кристалла называютъ *идеальнымъ кристалломъ;* къ этимъ-то идеальнымъ формамъ и относятъ всѣ дѣйствительныя формы кристалловъ.

Во всякомъ кристаллѣ можно найти извѣстныя направленія, относительно которыхъ расположены симметрически отдѣльныя плоскости его; эти направленія суть *оси кристалла*. Въ кристаллѣ, представленномъ на фиг. 681-й, линія, соединяющая концы двухъ шестисторонних пирамидъ, очевидно составляетъ ось его. Плоскости призмы, означенныя буквою *g*, параллельны этой оси; всѣ плоскости пирамиды одинаково наклонены къ этой линіи.

Взаимное положеніе и относительная величина этихъ осей не одинаковы для всѣхъ кристалловъ. Основываясь на этомъ различіи, раздѣляютъ всѣ кристаллы на 6 различныхъ кристаллическихъ системъ.

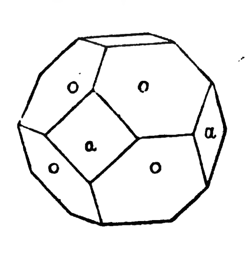
1) *Правильная система* съ тремя взаимно перпендикулярными и равными осями. Въ этой системѣ различаютъ нѣсколько простыхъ формъ, за основаніе которыхъ берутъ октаедръ (фиг. 684), потому что изъ него легко уже вывести другія формы. Октаедръ ограниченъ со всѣхъ сторонъ восемью треугольными равносторонними плоскостями, составляющими 6 угловъ и 12 реберъ, равныхъ между собою. Оси *ac*, *bd* и *fg* пересѣкаются подъ прямымъ угломъ по срединѣ октаедра въ точкѣ *m*.

Фиг. 684.

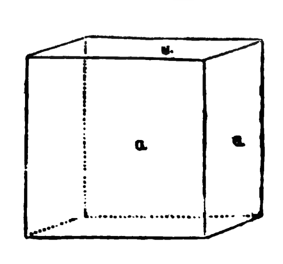




Фиг. 685.



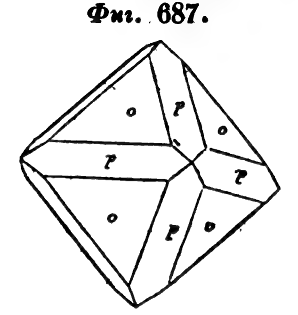
Фиг. 686.



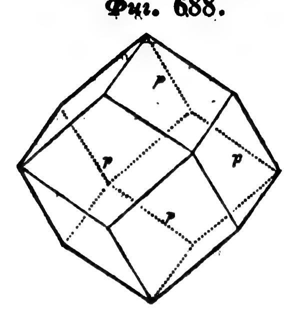
Если каждый уголъ октаедра притупленъ плоскостію, перпендикулярною къ соответственной оси, то получается тѣло, представленное на фиг. 685-й; а по продолженіи притупляющихъ плоскостей до взаимнаго пересѣченія, получается кубъ (фиг. 686). Въ кубѣ всѣ ребра и углы равны между собою.

Представивъ себѣ ребра октаедра притупленными плоскостями параллельными этимъ ребрамъ, мы получимъ тѣло, изображенное на фиг. 687-й, а по продолженіи притупленныхъ плоскостей, лежащихъ на ребрахъ октаедра до взаимнаго ихъ пересѣченія, будемъ имѣть ромбододекаедръ (фиг. 688).

Фиг. 687.



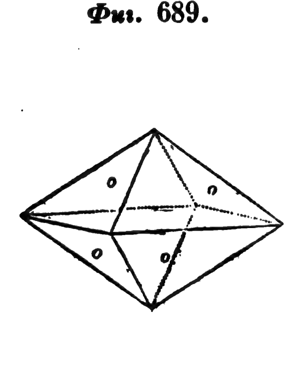
Фиг. 688.



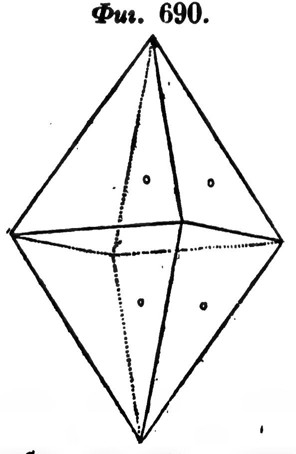
Точно такимъ же образомъ можно получить и прочія формы правильной системы; сказанное нами уже достаточно указываетъ на характеръ правильной системы, заключающейся собственно въ томъ, что всѣ формы ея совершенно симметрически относительно трехъ осей. Правильную систему кристалловъ получаютъ: квасцы, поваренная соль, плавиковой шпатъ и др.

2) *Квадратная система*, основною формою которой служитъ квадратный октаедръ фиг. 689 и 690, т. е. октаедръ, отличающійся отъ октаедра правильной системы тѣмъ, что въ немъ только двѣ оси равны между собою. Остальная же ось, называемая *главною осью*, бываетъ то больше, то меньше двухъ другихъ; но всегда отношеніе осей для одного и того же тѣла одинаково. Обѣ равныя оси обыкновенно принимаютъ лежащими по горизонтальному, а послѣднія по вертикальному направленію.

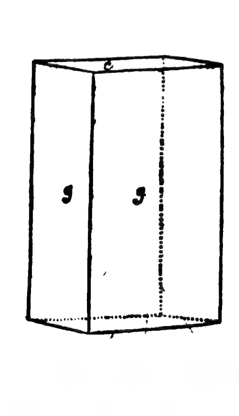
Фиг. 689.



Фиг. 690.



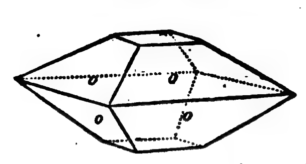
Фиг. 691.



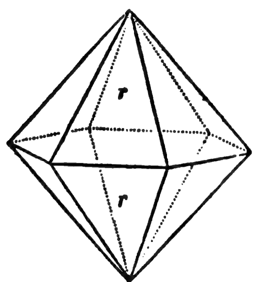
Четыре горизонтальныя ребра квадратнаго октаедра хотя равны между собою, но различаются отъ предъидущихъ, которыя въ свою очередь равны другъ другу. Отъ притупленія четырехъ горизонтальныхъ ребръ получается квадратная призма, т. е. призма съ квадратнымъ основаніемъ, ограниченная, какъ показываетъ фиг. 691-я, двумя плоскостями параллельными горизонтальной оси.

Точно также въ квадратномъ октаедрѣ находится два рода угловъ: верхній и нижній углы отличны отъ четырехъ другихъ угловъ. На фиг. 692-й и 693-й представлены два видоизмѣненія этой формы, изъ которыхъ у первой притуплены верхній и нижній углы, между тѣмъ какъ у послѣдней притуплены углы, соотвѣтствующіе горизонтальнымъ осямъ.

Фиг. 692.



Фиг. 693.



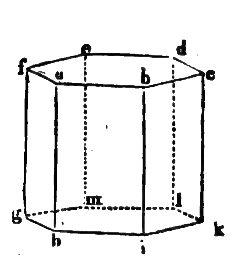
Изъ сказаннаго нами объ этой системѣ слѣдуетъ, что главное свойство ея заключается въ различіи вертикальной отъ двухъ другихъ однородныхъ осей.

Къ квадратной системѣ между прочими принадлежатъ: везувіанъ, меллитъ, сѣрнокислая окись никеля и многія другія.

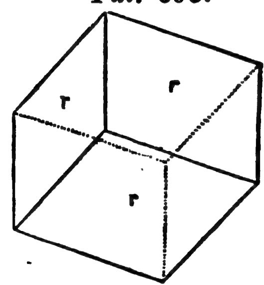
3) *Шестичленная* (*три и одноосьная*) *система* съ четырьмя осями, изъ которыхъ три равныя и пересѣкающіяся подъ угломъ въ 60 градусовъ, лежатъ въ одной плоскости, между тѣмъ какъ отдѣльная четвертая, такъ называемая главная ось, не равна тремъ другимъ осямъ и проходитъ отвѣсно къ плоскости ихъ. Этой системѣ принадлежатъ правильныя шестисторонніе пирамиды и призмы (фиг. 694 и 695).

Фиг. 694.

Фиг. 695.



Фиг. 696.



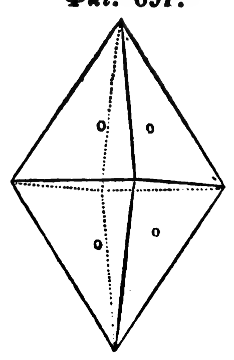
Известковый шпатъ, горный хрусталь и многіе другіе минералы принадлежатъ къ этой системѣ.

Если представить себѣ половины плоскостей двойной шестисторонней пирамиды продолженными до взаимнаго пересѣченія и до совершеннаго уничтоженія прочихъ, то получимъ *ромбоедръ* (фиг. 696), основную форму известковаго шпата.

Тѣла, образующіяся способомъ приведеннымъ нами для ромбоедра, называются *полугранными формами*.

4) *Ромбическая система* съ тремя взаимно перпендикулярными, но неравными осями. Представивъ себѣ одну изъ осей въ вертикальномъ положеніи, двѣ другія должны находиться въ горизонтальной плоскости; но въ настоящемъ случаѣ обѣ горизонтальныя оси не равны, какъ это было въ квадратной системѣ. Въ ромбическомъ октаедрѣ (фигура 697) каждые два діаметрально противоположные угла взаимно равны, слѣдовательно верхній и нижній, передній и задній, правый и лѣвый. Въ этомъ случаѣ представляются три различные рода угловъ. Точно также въ ромбоедрическомъ октаедрѣ различается три рода ребръ: четыре горизонтальныя, четыре ребра лежащія въ плоскости вертикальной и одной изъ двухъ горизонтальныхъ осей, и наконецъ ребра, соединяющія вертикальную ось съ другими горизонтальными.

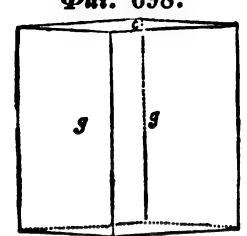
Фиг. 697.



Отъ притупленія четырехъ горизонтальныхъ ребръ получается *прямая ромбическая призма*, т. е. призма, которой основаніе есть ромбъ. Фигура этого послѣдняго тѣла зависитъ отъ отношенія между величиною двухъ горизонтальныхъ осей.

Фигура 698-я представляетъ прямую ромбическую призму, ограниченную сверху и снизу плоскостями, параллельными двумъ горизонтальнымъ осямъ. Всѣ восемь горизонтальныхъ ребръ этого тѣла однородны; напротивъ того, четыре вертикальныя ребра не однородны, потому что горизонтальный разрѣзъ призмы есть ромбъ и слѣдовательно должны быть два острыя (на фиг. правое и лѣвое) и два тупыя ребра (на фиг. переднее и заднее).

Фиг. 698.

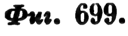


Къ ромбической системѣ принадлежатъ: селитра, цинковый купоросъ, арагонитъ и многіе другіе.

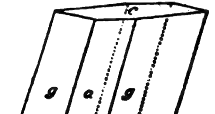
5) *Двy и одночленная (клинометрическая) система*, къ которой между прочими принадлежатъ: гипсъ, глауберова соль, желѣзный купоросъ, сахаръ и др., отличается отъ ромбической системы тѣмъ, что двѣ оси не лежатъ между собою подъ прямымъ угломъ, а третья ось къ нимъ перпендикулярна и проходитъ въ косвенномъ направленіи къ плоскости двухъ другихъ осей.

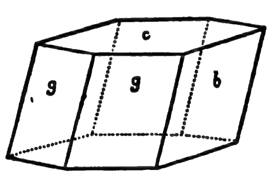
Характеристическую форму этой системы составляетъ *косая ромбическая призма* (фиг. 699), отличающаяся отъ прямой ромбической призмы предъидущей системы тѣмъ, что главная ось наклонна къ основанію.

И въ этой косой призмѣ мы встрѣчаемъ два острые и два тупые угла призмы. Плоскости, притупляющія переднее и заднее ребро призмъ (плоскость *a* фиг. 700-й), перпендикулярны къ верхней плоскости *c*; между тѣмъ какъ плоскости, притупляющія *b*, правое и лѣвое ребро, наклонны къ *c* (фиг. 701).



Фиг. 699. Фиг. 700. Фиг. 701.

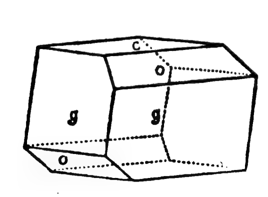




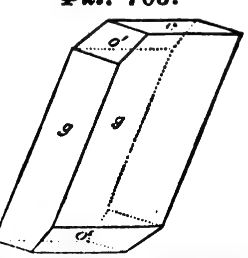
Горизонтальныя ребра, ограничивающія плоскость *c*, неодинаковы, какъ это было у прямой ромбической призмы на верхней поверхности (фиг. 699); оба правыя ребра суть острыя ребра, а лѣвыя — тупыя.

Притупленныя острыя горизонтальныя ребра представлены на фиг. 702-й, а притупленныя тупыя на фиг. 703-й.

Фиг. 702.



Фиг. 703.



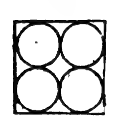
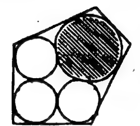
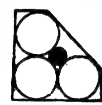
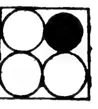
6) *Одно и одночленная (клиноромбоидальная) система* характеризуется тремя неравными осями, несоставляющими между собою прямыхъ угловъ. Кристаллы этой системы обладаютъ наименьшею симметріею. Здѣсь однородны только двѣ плоскости, два ребра и два угла, лежащіе другъ противу друга.

Къ одно и одночленной системѣ принадлежитъ между прочими мѣдный купоросъ.

Одноформенность и изомѣрность. § 194. Тѣла одинаковаго матеріяльнаго свойства кристаллизуются постоянно въ опредѣленныя, хотя и принадлежащія къ различнымъ системамъ, формы. Однако же видъ кристалловъ не находится въ такой связи съ матеріяльными свойствами тѣлъ, чтобы по послѣднимъ мы могли заключать о первомъ. — Есть много явленій, говорящихъ въ пользу того предположенія, что видъ кристалловъ зависитъ не столько отъ свойства тѣла, сколько отъ относительнаго объема атомовъ его (т. е. числа, полученнаго отъ раздѣленія вѣса атомовъ на удѣльный вѣсъ), и что извѣстный видъ кристалловъ остается неизмѣннымъ, если одну изъ составныхъ частей тѣла замѣнить другою, атомы котораго имѣютъ приблизительно тотъ же объемъ. Такія тѣла, принимающія одинаковый видъ кристалловъ, называются *одноформенными (изоморфными)*.

Возмемъ напр. четыре горошинки (фиг. 704); положивъ ихъ попарно, плотно другъ возлѣ друга, мы получимъ правильный четвероугольникъ. Если изъ этого четвероугольника мы вынемъ одну горошинку и положимъ на ея мѣсто или бобъ (фиг. 705), или чечевичное зерно (фиг. 706), то въ обоихъ этихъ случаяхъ измѣнится правильность фигуры четвероугольника. Если же мы вмѣсто вынутой горошинки положимъ совершенно одинаковый съ нею оловянный шарикъ (фиг. 707), то правильность четвероугольника не будетъ нарушена. Въ этомъ случаѣ утратится только единообразіе всѣхъ частей, составляющихъ четвероугольникъ. Подобное можно сказать и объ атомахъ.

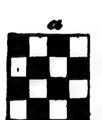
Фиг. 704, 705, 706, 707.

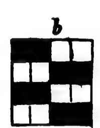





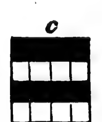
Но есть тѣла, которыя при кристаллизаціи своей въ различныхъ обстоятельствахъ, принимаютъ различныя формы. Послѣднія тѣла называютъ *изомерными*.

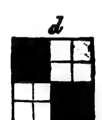
Возмемъ простую шахматную доску (фиг. 708, 709, 710, 711) съ черными и бѣлыми квадратами, и станемъ соединять квадраты вмѣсто шахматнаго порядка попарно, такъ чтобы возлѣ чернаго квадрата находился черный, а возлѣ бѣлаго бѣлый. Число квадратовъ во всей доскѣ останется по прежнему одно и тоже, но самое расположеніе ихъ измѣнится и доска уже будетъ имѣть другой видъ. Тоже самое происходитъ, по всей вѣроятности, и съ атомами при перестановкѣ ихъ.

Фиг. 708, 709, 710, 711.









Отношеніе кристалловъ къ част. силамъ. § 195. Свойства кристалловъ приводятъ насъ къ нѣкоторымъ заключеніямъ на счетъ вида атомовъ тѣлъ и самаго образа дѣйствія частичныхъ силъ. Изъ полиэдрическаго (многограннаго) вида кристалловъ можно заключить, что частичныя силы, которыми одарены атомы, не дѣйствуютъ съ одинаковою силою по всѣмъ направленіямъ. Выводъ этотъ въ свою очередь ведетъ къ тому, что сами атомы должны обладать полиэдрической формой. Поэтому атомы, предоставленные самимъ себѣ и дѣйствующимъ въ нихъ силамъ, принимаютъ то положеніе равновѣсія, при которомъ они покоряются наибольшему притяженію, чѣмъ и опредѣляется самая форма кристалловъ.

Различн. роды твердыхъ тѣлъ. § 196. Судя по *степени сцѣпленія* и самая способность твердыхъ тѣлъ къ разъединенію ихъ частицъ бываетъ различна. Такъ напр. опытъ показываетъ намъ, что для разъединенія въ иныхъ тѣлахъ

потребна значительная сила; въ этомъ случаѣ говорятъ, что тѣло обладаетъ *твердостію*. Если же для разъединенія требуется незначительная сила, то тѣло, представляющее это свойство, называютъ *мягкимъ*. Послѣднія тѣла, какъ напр. воскъ, мягкая глина, легко принимаютъ оттиски тѣхъ предметовъ, которые къ нимъ прикасаются и могутъ сохранять различныя формы, даваемыя имъ.

При разъединеніи частицъ твердыхъ тѣлъ, могутъ встрѣтиться два главные случая: сцѣпленіе или уступаетъ разъединяющей силѣ или сохраняется въ тѣлѣ; тѣла, у которыхъ слабое разъединеніе частицъ уничтожаетъ дѣйствіе сцѣпленія и производитъ раздѣленіе тѣла на части, называются *хрупкими*, какъ напр. стекло, висмутъ и другія; тѣже тѣла, которыхъ частицы позволяютъ произвести замѣтное измѣненіе формы, не подвергаясь раздѣленію на части, называются *тягучими*.

Тѣла, которыхъ частицы, отъ дѣйствія внѣшней силы, какъ напр. давленія, удара и т. п. могутъ растягиваться до извѣстной степени, не подвергаясь ни разрыву, ни разлому, бываютъ двухъ родовъ:

1) у однихъ раздвинутыя частицы, по прекращеніи разъединяющей силы, снова возвращаются въ прежнее положеніе и поэтому принимаютъ какъ первобытный свой видъ, такъ и объемъ; такія тѣла называются *упругими;*

2) у другихъ же тѣлъ частицы не возвращаются на прежнее свое мѣсто, а заставляютъ тѣло сохранять тотъ насильственный видъ, который дала ему внѣшняя причина; такія тѣла называются *тягучими*.

Разсмотримъ ближе эти различные роды твердыхъ тѣлъ.

§ 197. Изъ двухъ тѣлъ болѣе твердымъ считается то, которое даетъ по другому черту, а какъ алмазъ можетъ чертить всякое тѣло, не будучи самъ чертимъ ни однимъ изъ нихъ, то и принимаютъ его за самое твердое тѣло. Степень твердости бываетъ весьма разнообразна не только для различныхъ тѣлъ, но даже и для одного и того же тѣла при различныхъ обстоятельствахъ; такъ напр. высушенная на воздухѣ и обожженная мокрая глина превращается въ твердое тѣло; такъ сталь принимаетъ твердость во всей массѣ, если ее накалить сильно и потомъ тотчасъ погрузить въ холодную воду, въ мыльную воду, въ масло или наконецъ въ сало; это дѣйствіе называется *закалкою стали*. Мѣдь отъ быстраго охлажденія тотчасъ послѣ сильнаго нагрѣванія дѣлается наоборотъ мягкою. Многіе металлы, какъ напр. серебро, желѣзо, латунь, отъ ковки, валянія и вытягиванія въ проволоки дѣлаются тверже. Преимущественно же измѣняется твердость тѣлъ послѣ химическаго соединенія ихъ съ другими. Твердость.

Небольшіе предметы изъ стали, какъ напр. маленькія долота, графштихи, накаливаются на пламени свѣчи съ помощію паяльной трубки и потомъ погружаются въ сало свѣчи; отъ вторичнаго накаливанія и медленнаго охлажденія они снова дѣлаются мягкими; поэтому жесть и проволока накаливаются передъ каждымъ новымъ вытягиваніемъ. Сталь отъ закалки дѣлается ломкою и принимаетъ названіе *хрупкой;* для уменьшенія твердости и ломкости сталь



отпускается, т. е. снова нагрѣвается и потомъ снова *медленно* охлаждается. Чѣмъ сильнѣе при этомъ нагрѣвается сталь, тѣмъ болѣе уменьшается степень твердости и ломкости ея. При медленномъ нагрѣваніи поверхность хрупкой стали принимаетъ различные цвѣта, сперва блѣдножелтый, потомъ соломенный, потомъ желтый на подобіе золота, тамъ коричневый, пурпурный, свѣтлоголубой и темноголубой; появленіе темносѣраго цвѣта служитъ признакомъ уничтоженія всякой твердости; краски, появляющіяся при нагрѣваніи, опредѣляютъ степень отпусканія, а послѣднее обыкновенно согласуется съ цѣлію назначенія стали; для часовыхъ пружинъ сталь отпускается до голубаго цвѣта.

Отъ сплава тягучей мѣди съ болѣе твердымъ цинкомъ получается мягкая мѣдь; отъ сплава 5 частей мѣди и 1 части олова получается твердая колокольная мѣдь, а 2 части мѣди съ 1 частію олова даютъ еще болѣе твердый зеркальный металлъ. Желѣзо отъ примѣса $^1/_{100}$ угля превращается въ твердую сталь, а по соединеніи съ $^2/_{100}$ до $^4/_{100}$ угля превращается въ чугунъ. Литая сталь отъ примѣса $^1/_{500}$ серебра или $^1/_{200}$ родія получаетъ весьма сильную степень твердости. Сталь, получаемая изъ Остъ Индіи и извѣстная подъ названіемъ *вуца*, обязана превосходною своею твердостію примѣси глинія, металла дающаго въ соединеніи съ кислородомъ глину.

При извѣстныхъ обстоятельствахъ мягкое тѣло можетъ разрѣзать твердое; такъ напр. если привести во вращательное движеніе кружокъ изъ мягкаго желѣза и если держать противу края кружка твердый графштихъ, то при скорости меньшей 34,5 фута въ секунду графштихъ надрѣзываетъ край кружка, а при увеличеніи скорости повторяется обратное и тѣмъ сильнѣе, чѣмъ болѣе увеличивается скорость; при слишкомъ большой скорости вращенія край кружка рѣжетъ на части самыя твердыя стальныя вещи.

Хрупкость. § 198. Хрупкость тѣла можетъ быть увеличена или уменьшена съ помощію различныхъ способовъ; такъ напр. упругая сталь отъ продолжительной ковки дѣлается до такой степени хрупкою, что раздробляется подъ молотомъ въ куски; цинкъ при высокой температурѣ вытягивается, въ холодномъ же состояніи ломокъ. Хрупкость стекла можетъ быть увеличена въ замѣчательной степени, если только что приготовленныя изъ него вещи перенести въ холодное мѣсто, т. е. если дать имъ быстро охладиться. Примѣромъ этого могутъ служить такъ называемыя *стеклянныя капли* (фиг. 712) и *болонскія бутылки* (713). Быстрое охлажденіе приводитъ наружныя частицы ихъ въ весьма близкое прикосновеніе между собою; но внутреннія частицы охлаждаются нѣсколько позже и потому, сближаясь между собою, не могутъ уже расположиться за отвердѣвшими наружными частями такъ, какъ этого требуютъ частичныя силы и какъ бы это должно произойти при медленномъ и равномѣрномъ охлажденіи всѣхъ частей; вслѣдствіе того внутреннія частицы находятся въ насильственномъ положеніи, въ нѣкотораго рода напряженіи, такъ что самое незначительное измѣненіе въ положеніи однѣхъ какихъ либо частицъ уже достаточно для разстроенія цѣлаго расположенія тѣла. Для воспрепятствованія большой хрупкости обыкновенныхъ стеклянныхъ вещей, тотчасъ послѣ выдуванія или выдавливанія въ формахъ, кладутъ ихъ въ нагрѣтую печь, которая охлаждается постепенно до температуры окружающаго воздуха.

Фиг. 712 и 713.



Желѣзо отъ примѣси фосфора дѣлается весьма хрупкимъ и ломкимъ; отъ примѣси незначительнаго количества сѣры дѣлается ломкимъ въ краснокалильномъ жару.

Для полученія стеклянныхъ каплей кидаютъ въ холодную воду расплавленное стекло въ раскаленномъ состояніи; капли эти такъ тверды, что могутъ противостоять даже значительнымъ толчкамъ, но если надломить кончикъ ихъ, то вся остальная масса распадается въ крупный порошокъ. Такъ называемыя болонскія бутылки суть небольшія стклянoчки съ довольно толстыми стѣнками и очень толстымъ дномъ; тотчасъ по выдуваніи, ихъ охлаждаютъ на холодномъ воздухѣ; онѣ выдерживаютъ довольно сильные толчки, но распадаются на нѣсколько частей, какъ только попадетъ внутрь ихъ небольшой острый кусочекъ кремня, производящій царапину на внутренней ихъ поверхности.

§ 199. Обыкновенно отличаютъ разные виды тягучести, выражающіеся разными названіями: *ковкости*, *вытягиванія*, *сплющиванія*. Степень тягучести опредѣляется величиною вытягиванія, обнаруживаемаго тѣломъ до разрыва. Она различна не только для разныхъ тѣлъ, но и для одного и того же тѣла при различныхъ обстоятельствахъ; наибольшее вліяніе на тягучесть обнаруживаетъ теплота, которая при увеличеніи до извѣстнаго предѣла, увеличиваетъ тягучесть, между тѣмъ какъ въ другихъ случаяхъ она уменьшается отъ теплоты; такъ напр. цинкъ вытягивается въ проволоки и сплющивается въ листы только при 80° или 120° Р.; но при увеличеніи температуры за 164° Р. цинкъ дѣлается еще хрупче, чѣмъ при обыкновенной температурѣ. Стекло, достаточно нагрѣтое, вытягивается въ тончайшія нити и шарики съ весьма тонкими стѣнками. Тягучесть.

Воскъ, сургучъ, брусковая камедь при обыкновенной температурѣ ломки; въ нагрѣтомъ состояніи тягучи. Подобно золоту, платинѣ и серебру обладаютъ значительною тягучестію также мѣдь, олово и свинецъ; изъ этихъ металловъ можно получать самые тонкіе листики.

§ 200. Подъ упругостію разумѣютъ внутреннюю силу, съ которою частицы, выведенныя изъ ихъ положенія, стремятся опять принять прежній свой видъ. Если упругое тѣло такого свойства, что частицы, положеніе которыхъ измѣнено дѣйствіемъ какой нибудь силы, приходятъ совершенно точно въ свое первое положеніе и вслѣдствіе того тѣло принимаетъ опять свой прежній видъ и твердость, когда сила перестаетъ дѣйствовать, то такое тѣло называется *совершенно упругимъ*; если же выведенныя изъ своего положенія частицы не совершенно приходятъ въ прежнее положеніе, то говорятъ, что тѣло *не совершенно упруго*. Упругость.

Опытъ показываетъ, что всѣ тѣла въ отношеніи къ небольшимъ силамъ, производящимъ только слабыя, едва замѣтныя перемѣщенія въ частицахъ, можно принять за совершенно упругія; такъ что даже стекло для малыхъ силъ совершенно упруго, потому что его можно сдавить и гнуть, но частицы принимаютъ совершенно свое прежнее положеніе, по прекращеніи дѣйствія причины, производящей измѣненіе мѣста ихъ.

Въ общежитіи подъ упругими тѣлами разумѣютъ только тѣла, претерпѣвающія замѣтныя измѣненія и снова возстановляющія свою



форму по прекращеніи дѣйствія внѣшней силы, какъ напр. каучукъ, слабо закаленная сталь, слоновая кость, китовый усъ. Впослѣдствіи мы будемъ называть упругими собственно только такія тѣла. Тонкія свинцовыя пластинки, мокрыя глиняныя массы, въ которыхъ даже слабая сила можетъ произвести остающееся измѣненіе формы, принимаются за неупругія тѣла.

Измѣненіе вида и объема упругихъ тѣлъ можетъ быть произведено *сгибаніемъ*, *давленіемъ*, *вытягиваніемъ* или *крученіемъ*: во всѣхъ случаяхъ внѣшняя сила дѣйствуетъ только на одну частицу тѣла, тогда какъ прочія довольно сильно удерживаются въ прежнемъ положеніи или по крайней мѣрѣ выводятся изъ своего положенія со скоростію меньшею противу давленія или вытягиванія.

Примѣры упругости можно видѣть въ шпажномъ клинкѣ, тростникѣ, натянутой струнѣ или снуркѣ, въ шарикахъ изъ слоновой кости, въ упругости которыхъ легко убѣдиться, если бросать ихъ на мраморную доску, покрытую тонкимъ слоемъ сала; мы замѣтимъ на доскѣ, послѣ отскакиванія шарика, круглое пятно, между тѣмъ какъ неупругій шарикъ, касаясь въ одной точкѣ, не произведетъ кружка; очевидно, что шарикъ при удареніи о доску первоначально сжимался, но потомъ снова принималъ свой прежній видъ. Тоже замѣчается на шарикахъ изъ дерева, камня и изъ многихъ металловъ. Металлическія проволоки можно вытягивать гирями извѣстнаго вѣса, но онѣ принимаютъ прежнее положеніе тотчасъ по удаленіи гирь. Если прикрѣпить металлическую проволоку съ одного конца и натянуть прямо, привѣсивъ къ ней какое нибудь тѣло и крутить по ея длинѣ, такъ чтобы частицы, расположенныя въ началѣ по прямой линіи, приняли бы видъ винтовой линіи, обвивающей длину проволоки, то упругость обнаруживается сопротивленіемъ, замѣчаемымъ при крученіи, и раскручиваніемъ проволоки, какъ скоро закручивающая сила перестаетъ дѣйствовать.

Какимъ бы образомъ не было произведено измѣненіе вида и объема тѣла, для каждаго изъ нихъ существуетъ извѣстная величина перемѣщенія частицъ, называемая *предѣломъ упругости*. Если по переходѣ за этотъ предѣлъ прекратится дѣйствіе внѣшней причины, то можетъ произойти одно изъ двухъ: или частицы, выведенныя изъ положенія, приближаются къ прежнему положенію, но не достигаютъ его совершенно, или онѣ остаются въ томъ положеніи, въ которое привела ихъ дѣйствующая сила, т. е. тѣло сохранитъ произведенное въ немъ измѣненіе его вида и объема.

Сила, могущая перемѣстить частицы тѣла до предѣла упругости, служитъ мѣрою величины упругости. Оба опредѣленія упругости для разныхъ тѣлъ бываютъ различны; они остаются даже и при одномъ и томъ же тѣлѣ не при всѣхъ обстоятельствахъ одинаковы, но при извѣстномъ положеніи тѣла значительно измѣняются. Такъ кованые металлы упруже литыхъ; свѣжее дерево упруже сухаго; стекло въ ниткахъ очень упруго, въ кускахъ и въ пластинкахъ представляетъ весьма мало упругости. Мѣдныя и серебреныя полоски, чрезъ умѣренное кованіе, дѣлаются столь упругими, что ихъ можно употреблять для пружинъ. Быстрое охлажденіе послѣ сильнаго нагрѣванія въ стали возвышаетъ упругость, а сплавъ изъ 78 частей мѣди и 22 частей цинка, дѣлается послѣ этого гибкимъ и ковкимъ;

но если послѣдній сплавъ медленно охладить, то онъ получаетъ высокую степень упругости, и въ этомъ состояніи употребляется Китайцами на цимбалы.

Упругость тѣла мало по малу ослабѣваетъ, если подвергать его долгое время дѣйствію внѣшней силы, причиняющей перемѣщеніе частицъ.

Веревки и ремни, долгое время остававшіеся въ натянутомъ состояніи, постепенно получаютъ остающуюся большую и большую длину, потому что ихъ частицы не возвращаются совершенно въ прежнее положеніе, когда прекращается натягиваніе.

Дуга изъ упругаго дерева при частомъ сгибаніи удерживаетъ изогнутый видъ. Упругія пружины при частомъ употребленіи принимаютъ постепенно видъ, близкій къ тому, который онѣ имѣли въ вытянутомъ состояніи. Даже шерсть, конскій волосъ, птичьи перья, которыми набиваютъ подушки для мебели, мало по малу теряютъ часть своей упругости, которую онѣ однакожь опять получаютъ, если ихъ часто вытряхивать и чесать.

Какъ бы не было произведено перемѣщеніе частицъ упругаго тѣла, вытягиваніемъ, сгибаніемъ, давленіемъ, крученіемъ, во всякомъ случаѣ представляется сопротивленіе, возрастающее съ величиною перемѣщенія частицъ до тѣхъ поръ, пока оно не придетъ въ равновѣсіе съ дѣйствующею силою. Какъ скоро наступило это равновѣсіе, то и перемѣщеніе мѣстъ частицъ прекращается. При увеличеніи внѣшней силы возрастаетъ измѣненіе мѣста и съ нимъ сопротивленіе, и опять до тѣхъ поръ, пока обѣ силы не придутъ въ равновѣсіе.

Опыты, производимые съ упругими тѣлами касательно отношенія силъ и ими произведенное измѣненіе объема внутри предѣловъ упругости, показали, что измѣненіе возрастаетъ въ томъ отношеніи, въ которомъ увеличивается сила вытягиванія, сгибанія, давленія и крученія тѣла; напр. если длина стальной полосы при напряженіи тяжести во 100 фунт. увеличивается на $^1/_{100}$ дюйма, то при 200 фунт. увеличится на $^2/_{100}$ дюйма, для 300 фунт. на $^3/_{100}$ дюйма и т. д.

Но какъ сопротивленіе, оказываемое упругимъ тѣломъ при каждомъ измѣненіи объема, всегда равно силѣ на него дѣйствующей, то результатъ опыта выражается слѣдующими словами: *сопротивленіе, оказываемое тѣломъ, вслѣдствіе его упругости, увеличивается внутри предѣловъ упругости точно въ такомъ же отношеніи, въ какомъ увеличивается измѣненіе объема.*

§ 201. Сила обратнаго толчка, выводящая изъ положенія равновѣсія частицы упругаго тѣла и заставляющая ихъ принимать естественное свое положеніе, часто употребляется для произведенія движенія, но нерѣдко также для того, чтобы предохранить тѣло отъ значительныхъ дѣйствій внѣшней силы, какъ напр. толчковъ. Приложеніе упругости.

Употребленіе лука для метанія стрѣлъ основывается на упругости натянутой упругой палки. Въ метательныхъ машинахъ древнихъ, въ *баллистахъ* и *катапультахъ*, которыми они бросали тяжести во 100 фунтовъ почти на 300 футовъ, сильно скрученныя веревки вдругъ опускались и чрезъ сильное стремленіе ихъ придти въ прежнее нескрученное состояніе, сообщали быстрое движеніе значительнымъ грузамъ.

Упругость натянутыхъ и сильно закрученныхъ веревокъ употребляютъ также для натягиванія тонкихъ пилъ; на ней же основывается скорое отскакиваніе отъ каната канатныхъ плясуновъ.

Упругія тѣла, употребляемыя въ машинахъ вмѣсто движущей силы, называются *пружинами*; такъ въ карманныхъ и стѣнныхъ часахъ употребляются, какъ мы уже говорили, стальныя пружины.

Клапаны музыкальныхъ инструментовъ снабжены пружинами; рессоры, на которыхъ устанавливаются экипажи, имѣютъ цѣлію замѣнить утомительные толчки, претерпѣваемые экипажемъ во время ѣзды по каменной мостовой, тихими поднятіями и опусканіями экипажа; онѣ имѣютъ еще и то преимущество, что замѣняютъ своею упругостію часть горизонтальной силы, теряемой чрезъ толчки о камни, и такимъ образомъ содѣйствуютъ поступательному движенію.

Постепенно возрастающее сопротивленіе упругихъ тѣлъ, употребляется также для ослабленія вреднаго дѣйствія толчковъ. При бросаніи бомбы на военномъ кораблѣ, мортира даетъ сильный толчекъ въ корабль, для этого подъ палубой находится толстый слой упругихъ тѣлъ, которыя сопротивленіемъ, оказываемымъ ими при сжиманіи, такъ ослабляютъ толчекъ, что онъ не производитъ вреднаго вліянія на массу корабля. Толстая обшивка корабля хлопчатою бумагою или пробкою можетъ своею упругостію отбить пушечное ядро. Подъ наковальнею должно класть упругое тѣло, напр. большой кусокъ дерева, для того, чтобы препятствовать разрушенію каменныхъ частей зданія, гдѣ находится наковальня.

Ломкіе предметы, при пересылкѣ ихъ съ одного мѣста на другое, перекладываются хлопчатою бумагою, пенькою, соломою, сѣномъ и тому подобнымъ, для того, чтобы ослабить дѣйствіе толчковъ, безпрерывно возобновляемыхъ при ѣздѣ.

Упругость веревокъ и ремней, доставляемая натягиваніемъ, дѣлаетъ ихъ способными передавать вращательное движеніе одного колеса другому, потому что веревка или ремень, стягиваніемъ и воспринятіемъ прежней формы, оказываетъ сильное давленіе на окружность колеса; чрезъ это увеличивается треніе, доставляющее возможность ремню слѣдовать за движеніемъ одного колеса и доставлять такимъ образомъ вращеніе другому колесу.

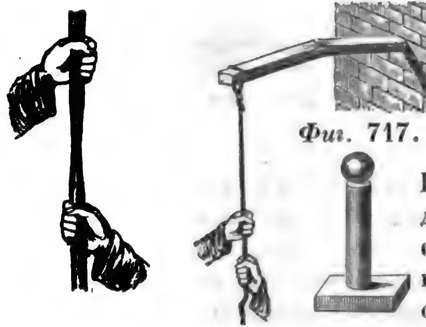
Упругія тѣла оказываютъ человѣку еще другія важныя услуги. Хлопчатобумажныя, шелковыя, льняныя и конопляныя нитки болѣе или менѣе упруги; эта упругость облегчаетъ приготовленіе тканей, потому что натянутыя нити основы, въ случаѣ, если бы онѣ были не упруги, могли разорваться при движеніи станка. Ткани нашихъ платьевъ должны быть упруги для того, чтобы могли согласоваться съ сгибаніемъ человѣческаго тѣла и съ движеніемъ членовъ его, и чтобы потомъ снова принимать свою первоначальную длину. Поясы, подвязки, чулки, перчатки, сапоги и все надѣваемое на голову, должно быть сдѣлано изъ упругихъ матерій; въ противномъ случаѣ, при движеніяхъ они причиняли бы боль членамъ нашего тѣла. Вмѣсто прямыхъ и параллельныхъ нитей для образованія упругихъ поверхностей приготовляютъ ткани, въ которыхъ нити слѣдуютъ изогнутому направленію и имѣютъ значительную длину; чрезъ это ткани дѣлаются способными вытягиваться отъ дѣйствія внѣшней силы; когда вытягивающая сила перестаетъ дѣйствовать, то онѣ снова стягиваются. Легкость, съ которою растягиваются и стягиваются ткани, дѣлаетъ ихъ удобными для покрытія такихъ частей тѣла, которыхъ видъ и растягиваніе при движеніи сильно измѣняется.

Изъ величины сопротивленія, оказываемаго тѣломъ, вслѣдствіе его упругости, можно заключить и о самомъ напряженіи дѣйствующей силы: на этомъ основано употребленіе пружинныхъ вѣсовъ (динамометровъ), употребляемыхъ, какъ мы уже говорили, для опредѣленія вѣса и вообще для нахожденія напряженія различныхъ силъ.

§ 202. Въ общежитіи весьма часто встрѣчается необходимость опредѣлять степень твердости матеріяловъ, употребляемыхъ для построекъ и для другихъ цѣлей. Такъ напр. при сооруженіи мостовъ нужно знать: могутъ ли выдерживать давленіе, ѣдущихъ по мосту экипажей, тѣ балки, на которыхъ лежитъ настилка моста. Оцѣнкою твердости въ этомъ случаѣ служитъ обыкновенно сопротивленіе, оказываемое тѣлами всякой внѣшней причинѣ, стремящейся къ разъединенію ихъ частицъ. Такъ какъ внѣшнія причины могутъ дѣйствовать на тѣла различнымъ образомъ, то сообразно тому и самая твердость тѣлъ бываетъ различна. Опредѣленіе предѣла твердости.

Такъ напр., если при этомъ тѣло *разрывается* — то твердость называется *абсолютною* (фиг. 714), въ отличіе отъ твердости *относительной*, когда испытуемое тѣло не разрывается, но ломается (фиг. 715).

Фиг. 714. *Фиг.* 715. *Фиг.* 716.



Фиг. 717.

Если же мы будемъ производить раздавливаніе какого нибудь тѣла подъ доскою, посредствомъ рычага (фиг. 716) или другимъ подобнымъ способомъ, то опредѣляемая, въ послѣднемъ случаѣ, твердость называется *возвратною*. Сюда должно отнести также сопротивленіе, оказываемое всякому давленію тѣлами, поставленными отвѣсно на какомъ нибудь твердомъ пьедесталѣ. Такъ напр. (фиг. 717) колонна, поддерживающая шаръ или бюстъ и лежащая на пьедесталѣ, обнаруживаетъ возвратную твердость. Твердость можетъ обнаруживаться также при *крученіи*. Во всѣхъ этихъ случаяхъ тѣла прежде разрыва болѣе или менѣе измѣняютъ свою форму. Форма эта, вслѣдствіе свойства упругости тѣлъ, по прекращеніи дѣйствія разрывающей силы, можетъ быть возстановлена снова; но это возстановленіе, какъ мы говорили выше, совершается только до *извѣстнаго предѣла*.

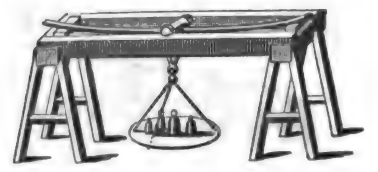
Фиг. 718.

Чтобы получить на практикѣ этотъ предѣлъ при изслѣдованіи абсолютной твердости тѣлъ, Мушенброкъ, знаменитый естествоиспытатель, жившій въ первой половинѣ 18 столѣтія въ Лейденѣ, привѣшивалъ (фиг. 718) къ оконечностямъ металлическихъ прутьевъ, (2 линія въ поперечникѣ) различныя тяжести до тѣхъ поръ, пока прутья не разрывались. Онъ нашелъ, что для разрыва прута изъ англійскаго свинца надобно 25 фунтовъ вѣса, изъ сурьмы 30, изъ госларскаго цинку отъ 76 до 83, изъ висмута отъ 85 до 93, изъ англійскаго олова 150, изъ японской мѣди 573, изъ золота 578, изъ шведской мѣди 1059, изъ чистаго серебра 1156 и изъ нѣмецкаго

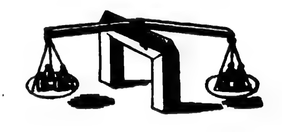
желѣза 1930 фунтовъ. Другіе опыты съ различными деревянными прутьями (3 линій въ поперечникѣ) показали, что для разрыва сосноваго дерева надобно было брать 550 фунт., для еловаго 600, липоваго—1000, дубоваго — 1150 и буковаго—1250 фунт. Шелковинка можетъ держать до 80, а человѣческій волосъ до 1500 гранъ. Выведенные въ этомъ отношеніи различными учеными законы согласуются между собою только въ томъ, что *абсолютная твердость тѣлъ выростаетъ вмѣстѣ съ величиною поверхности поперечнаго разрѣза испытуемаго тѣла и не находится въ опредѣленномъ отношеніи плотности его;* такъ напр. хотя золото плотнѣе желѣза, однако послѣднее, какъ видно изъ опытовъ, тверже перваго.

Для опредѣленія того же предѣла при относительной твердости обыкновенно даютъ испытуемому тѣлу видъ прута и кладутъ его горизонтально на станкѣ, какъ показываетъ 719-я фиг. Послѣ того

Фиг. 719.



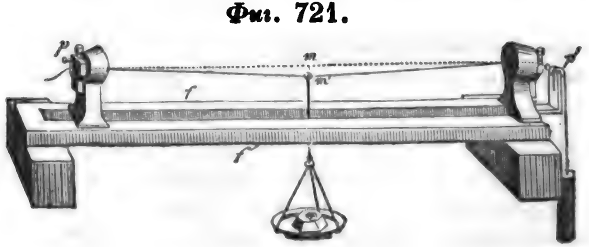
Фиг. 720.



привѣшиваютъ къ срединѣ прута различныя тяжести до тѣхъ поръ, пока онъ не разломится. Того же самаго можно достигнуть, подперевъ средину прута, оконечности котораго обременены тяжестями (фиг. 720). Выведенные изъ опытовъ результаты показываютъ намъ, что изъ двухъ бревенъ различной длины, имѣющихъ впрочемъ одинаковую ширину и толщину, длинное ломается скорѣе короткаго. Удвоивъ длину одного и того же бревна, мы найдемъ, что для разлома его будетъ потребна вдвое меньшая тяжесть. Это значитъ, что *относительная твердость обратно пропорціональна длинѣ тѣлъ.* Сравнивая бревна различной ширины, мы увидимъ, что при удвоенной ширинѣ бревна потребуется и удвоенная тяжесть для разлома. Но если примемъ во вниманіе различіе толщины бревенъ, то найдемъ, что вдвое толстое бревно потребуетъ для разлома учетверенной тяжести.

Проволока и металлическія пластинки, натянутыя какою нибудь силою, удлиняются пропорціонально величинѣ тянущей силы. Справедливость этого можетъ быть подтверждена различными образами. Для весьма гибкихъ проволокъ употребляютъ приборъ, представленный на фиг. 721. Въ немъ проволока располагается горизонтально и натягивается вѣсомъ опредѣленной гири. Когда проволока пріобрѣла извѣстную натянутость, то утверждаютъ конецъ ея, приходящійся противу гири. Высота про-

Фиг. 721.

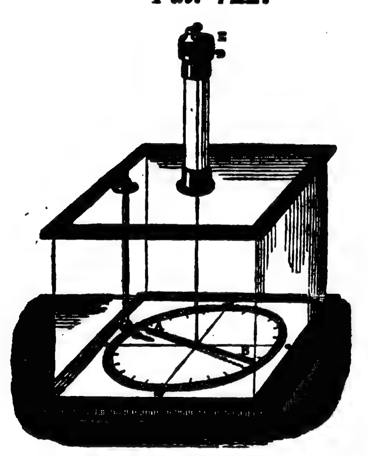


волоки опредѣляется съ точностію и къ срединѣ ея прикрѣпляется чашка, которую обремѣняютъ грузами. Тогда снова замѣчаютъ высоту средины проволоки и опредѣляютъ съ точностію разстояніе *mm'*. Какъ разстоянія *pm* и *mm'* извѣстны, то легко уже вычислить гипотенузу *pm'* прямоугольнаго треугольника *pmm'*; вслѣдствіе чего получается половина удлиненія: именно *pm'* — *pm*.

Что же касается до *возвратной твердости*, то она *зависитъ* преимущественно *отъ фигуры тѣлъ*. Такъ напримѣръ пирамидальное тѣло выдерживаетъ бо́льшій грузъ противу цилиндрическаго. Сплошной желѣзный шестъ выдерживаетъ менѣе давленія, нежели таже самая масса желѣза, вытянутая въ пустой цилиндръ. Сплошной столбъ выдерживаетъ большее давленіе противу такого же столба, составленнаго изъ нѣсколькихъ отдѣльныхъ частей. При одномъ и томъ же видѣ тѣла возвратная твердость увеличивается съ величиною разрѣза.

Законы крученія нитей опредѣлены были французскимъ физикомъ Кулломбомъ, умершимъ 1806 года. Въ своихъ изысканіяхъ по этому предмету Кулломбъ пользовался изобрѣтенными имъ *крутительными вѣсами* (фиг. 722). Эти вѣсы состоятъ изъ тонкой металлической проволоки укрѣпленной въ верхней части, и натянутой внизу небольшимъ грузомъ, къ которой прикрѣплена горизонтальная игла. Внизу находится раздѣленный на градусы кругъ, центръ котораго находится на продолженіи проволоки въ то время, когда она находится въ вертикальномъ направленіи. Сила, необходимая для отклоненія иглы изъ положенія ея равновѣсія на какой нибудь извѣстный уголъ, именуемый *угломъ крученія*, обозначается также особеннымъ названіемъ *силы крученія*. Послѣ этого отклоненія частицы, расположенныя до того на одной прямой линіи, съ направленіемъ длины проволоки, располагаются по спирали, завитой вокругъ этой проволоки. Когда предѣлъ упругости еще не пройденъ, то частицы стремятся принять свое первоначальное положеніе и приходятъ въ него на самомъ дѣлѣ, по прекращеніи дѣйствія силы крученія. Дойдя до первоначальнаго своего мѣста, частицы не останавливаются; онѣ проходятъ это положеніе, и производятъ крученіе въ противную сторону. Какъ равновѣсіе нарушено снова, то игла поворачивается опять назадъ и останавливается противъ нуля на кругѣ только послѣ извѣстнаго числа колебаній въ обѣ стороны отъ этой точки.

Фиг. 722.



Помощью этого прибора Кулломбъ нашелъ, для крученія металлическихъ проволокъ, слѣдующіе четыре закона:

1. Если дуги колебаній не превышаютъ небольшаго числа градусовъ, то эти колебанія почти совершенно одновременны.

2. Для одной и той же проволоки уголъ крученія пропорціоналенъ силѣ крученія.

3. Для одной и той же силы крученія и проволокъ одного діаметра, уголъ крученія пропорціоналенъ длинѣ проволокъ.

4. Для одной и той же силы и одинаковой длины проволоки уголъ крученія обратно пропорціоналенъ діаметру въ четвертой степени.

Важнѣйшія тѣла, твердость которыхъ приходится часто принимать во вниманіе при употребленіи, суть металлы, дерево и веревки.

Касательно металловъ опытъ показываетъ, что обыкновенно кованые металлы тверже, чѣмъ литые и теплые слабѣе холодныхъ; на эти обстоятельства надобно особенно обращать вниманіе при устройствѣ паровыхъ котловъ. Умѣренная ковка возвышаетъ твердость; сплавы многихъ металловъ и отношеніе, наблюдаемое при этомъ между количествами ихъ, значительно измѣняетъ твердость металловъ, какъ это можно видѣть на пушечномъ металлѣ, на колокольномъ, зеркальномъ, на бронзѣ, которые всѣ состоятъ изъ мѣди и олова, взятыхъ въ различныхъ пропорціяхъ.

Между различными деревами красное дерево имѣетъ большую относительную твердость противъ дубоваго и послѣднее большую противу сосноваго; но твердость одного и того же рода дерева зависитъ отъ возраста дерева, отъ свойства почвы, отъ климата и даже въ различныхъ частяхъ одного и того же ствола она очень различна, (дерево сучьевъ, ствола, сердцевины). Сырость также измѣняетъ твердость. Касательно веревокъ должно замѣтить, что твердость при той же толщинѣ и при одинаковомъ веществѣ бываетъ болѣе въ томъ случаѣ, если нити тоньше и мало сучены; чрезъ сученіе онѣ приходятъ въ натянутое состояніе и уже менѣе могутъ противиться разрыву, нежели некрученыя; поэтому при приготовленіи веревокъ должно скручивать ихъ до тѣхъ поръ, пока длина не уменьшится на $1/_{8}$. Плетеныя веревки при другихъ одинаковыхъ обстоятельствахъ крѣпче крученыхъ; мокрыя конопляныя веревки слабѣе сухихъ, намазанныя дегтемъ слабѣе ненамазанныхъ, бѣленыя слабѣе небѣленыхъ. Веревка, скрученная изъ тонкихъ проволокъ, крѣпче металлическаго прута одинаковой толщины и вѣса, потому что чрезъ вытягиваніе проволоки плотность и твердость каждой проволоки увеличивается.

Природа во всѣхъ своихъ произведеніяхъ внимательно беретъ въ расчетъ обстоятельства способствующія твердости, какъ это доказываютъ форма стволовъ деревъ, сучьевъ, стеблей и костей; во всѣхъ этихъ частяхъ мы замѣчаемъ достиженіе наибольшей твердости при наименьшей тратѣ матеріала. Четвероугольныя перекладины должны быть такъ приготовляемы, чтобы большая сторона разрѣза была высотою. Если надобно изъ круглаго бревна сдѣлать четвероугольную балку съ возможно большею относительною твердостію, то раздѣляютъ поперечникъ его на три равныя части; изъ одной точки раздѣла проводятъ перпендикуляръ кверху, а изъ другой книзу; потомъ продолжаютъ оба перпендикуляра до окружности, описанной половиною длины бревна (фиг. 723) и соединяютъ концы ихъ C и D съ оконечностями діаметра круга.

Фиг. 723.



Увеличеніе твердости весьма часто достигается особымъ расположеніемъ формы тѣла; такъ напр. мы видѣли форму, которую даютъ коромыслу, для пріобрѣтенія наибольшей твердости; точно также поступаютъ и съ маховыми колесами,

При вычисленіи твердости должно всегда обращать вниманіе на удѣльный вѣсъ тѣла; вслѣдствіе того при одномъ и томъ же веществѣ твердость не увеличивается собственно въ отношеніи величинъ тѣлъ.

§ 203. Разсмотримъ теперь силу сцѣпленія въ жидкихъ тѣлахъ, которыя раздѣляются, какъ извѣстно, на капельно жидкія и на упруго жидкія тѣла. Дѣйств. частичн. силъ въ жидкостяхъ.

Начнемъ съ капельно жидкихъ тѣлъ.

Существованіе силы сцѣпленія въ нихъ не можетъ уже быть обнаружено, подобно тому какъ у твердыхъ тѣлъ, сопротивленіемъ встрѣчаемымъ при разъединеніи частицъ, потому что послѣднія въ жидкихъ тѣлахъ уступаютъ малѣйшей внѣшней силѣ.

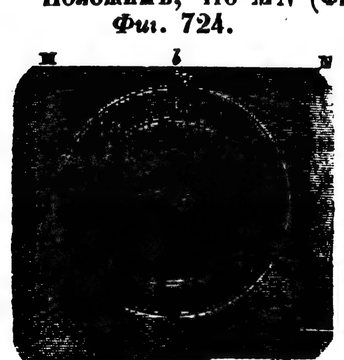
Мы убѣждаемся въ существованіи сцѣпленія между частицами жидкостей шарообразнымъ видомъ каплей и растягиваніемъ послѣднихъ въ томъ случаѣ, когда онѣ висятъ на оконечности какого нибудь твердаго тѣла, какъ напр. стеклянной палочки; понятно, что безъ взаимнаго притяженія висящія на палочкѣ частицы жидкости должны бы покоряться дѣйствію тяжести и падать книзу, подобно частичкамъ пыли.

Сила сцѣпленія въ жидкихъ тѣлахъ дѣйствуетъ вмѣстѣ съ отталкивающею силою. Слѣдствія, происходящія отъ этого взаимнаго дѣйствія силъ, очевидно могутъ быть опредѣлены перевѣсомъ одной силы надъ другою. Трудная сжимаемость жидкихъ частицъ показываетъ, что, при сближеніи ихъ, отталкивающая сила увеличивается сильнѣе противу силы сцѣпленія; на большемъ же разстояніи должна оказывать перевѣсъ послѣдняя сила, въ пользу чего говоритъ явленіе обнаруживаемое каплей, висящей на стеклянной палочкѣ. Изъ этого легко понять, почему дѣйствіе отталкивающей силы должно уничтожаться быстрѣе противу сцѣпленія. Поэтому сферу притяженія въ жидкихъ тѣлахъ мы должны принять большую, противу сферы отталкиванія.

Разсмотримъ теперь ближе, какое дѣйствіе обнаруживаетъ внутри жидкости сила сцѣпленія въ совокупности съ отталкивающей силою.

Положимъ, что *MN* (фиг. 724) представляетъ поверхность жидкости, *a*—частица, которой разстояніе *ab* отъ поверхности болѣе радіуса сферы притяженія этой частицы, сферы, описанной вокругъ точки *a* радіусомъ *ac;* пусть *ad* будетъ радіусъ меньшей сферы отталкивающей силы. Чтобы опредѣлить дѣйствіе, обнаруживаемое на *a* сосѣдними частицами, проведемъ отъ какой нибудь частицы *m*, лежащей внутри сферы дѣйствія этихъ частицъ, прямую линію *ma*, продолжимъ ее и отложимъ часть *na* = *ma*. Частица *n* будетъ лежать отъ *a* въ одинаковомъ удаленіи съ *m* и потому будетъ обнаруживать на *a* равное дѣйствіе съ послѣднею, но только по противоположному направленію. Поэтому дѣйствіе *m* и *n* на частицу *a* должно взаимно уничтожаться. Какъ для каждой частицы внутри сферы притяженія можетъ быть найдена такимъ

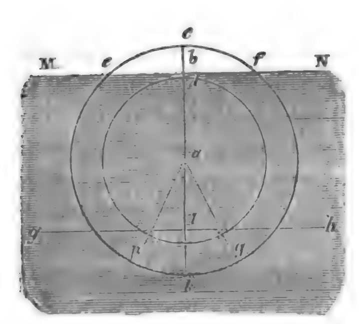
Фиг. 724.



же образомъ другая частица равноудаленная отъ *a* и дѣйствующая по противоположному направленію, то очевидно, что притягательныя силы всѣхъ частицъ, могущихъ обнаруживать свое дѣйствіе на *a*, будутъ взаимно уничтожаться. Тоже самое происходитъ и со всѣми отталкивающими силами, оказываемыми на *a* частицами, лежащими внутри меньшей сферы отталкиванія Вслѣдствіе того какъ частица *a*, такъ и всякая другая, разстояніе которой отъ поверхности жидкости превосходитъ радіусъ сферы притяженія, не получаетъ никакого побужденія къ движенію со стороны сосѣднихъ частицъ. Это служитъ причиною, почему внутри жидкости частицы обладаютъ весьма легкою подвижностію и почему сферы дѣйствія силъ каждой частицы дѣйствуютъ съ одинаковою силою на другія равно удаленныя частицы.

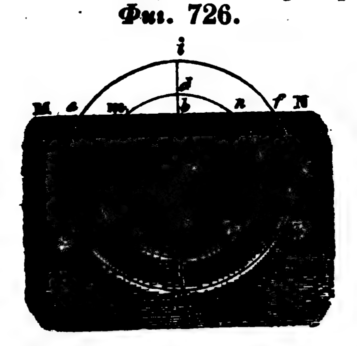
Посмотримъ теперь, какое вліяніе оказываютъ частицы жидкости на частицу, которой разстояніе *ab* (фиг. 725) отъ поверхности менѣе радіуса сферы притяженія, но болѣе радіуса сферы ея отталкиванія. Положимъ, что обѣ сферы дѣйствія описаны вокругъ точки *a* радіусами *ac* и *ad* и что *gh* представляетъ плоскость параллельную къ *MN* и проведенную ниже *a* на разстояніи $al = ab$. Легко понять, что отталкивающія силы, дѣйствующія на *a*, должны взаимно уничтожаться точно такъ какъ и притягательныя силы частицъ, лежащихъ въ части шара *egfh*. Частицы же, лежащія въ части шара *gkhl*, оказываютъ на *a* притяженіе, и дѣйствіе ихъ не уничтожается противоположной силой, потому что соотвѣтствующая и противоположно-лежащая часть притягательной сферы *ebfc*, которая могла бы уничтожать притяженіе частицъ *gkhl*, находится внѣ жидкости. Вслѣдствіе совокупнаго притяженія частицъ, лежащихъ въ части *gkhl*, частица *a* претерпѣваетъ давленіе книзу по направленію *ak* перпендикулярному къ поверхности *MN*, потому что для каждой частицы *p* мы можемъ найти равно удаленную отъ *ak* частицу *q*, которая, дѣйствуя одинаково съ *p*, даетъ равнодѣйствующую по линіи *ak*, раздѣляющей уголъ *paq* пополамъ. Что мы сказали о частицѣ *a*, то можно отнести и ко всѣмъ частицамъ, которыхъ разстояніе отъ поверхности менѣе противу радіуса сферы притяженія. Всѣ эти частицы, по причинѣ незначительности радіуса сферы притяженія, образуютъ на поверхности неизмѣримо тонкій слой. Частицы этого слоя вслѣдствіе дѣйствія частичныхъ силъ претерпѣваютъ давленіе книзу, давленіе, которымъ объясняется значительность сцѣпленія частицъ поверхности; это сцѣпленіе служитъ причиною, почему швейная игла можетъ лежать на поверхности воды, не погружаясь въ воду.

Фиг. 725.



Разсмотримъ теперь третій случай, когда частица a (фиг. 726) лежитъ отъ поверхности въ разстояніи ab, меньшемъ противу радіуса отталкивающей сферы; если продолжить ab и на продолженіи отложить часть $al = ab$ и потомъ чрезъ точки l и a провести двѣ параллельныя къ MN плоскости gh и rs, то, поступая точно также какъ и въ предъидущемъ случаѣ, не трудно убѣдиться, что дѣйствіе на a всѣхъ частицъ, лежащихъ внутри пространства $efrs$, будетъ уничтожаться равнымъ и противоположнымъ дѣйствіемъ частицъ, находящихся въ одинаковомъ пространствѣ $rghs$; однимъ словомъ, дѣйствіе будетъ тоже, какъ и въ томъ случаѣ, когда бы частицы, лежащія между плоскостями ef и gh вовсе не дѣйствовали на a. Съ другой стороны отталкиваніе частицъ части шара $oqpl$, въ сферѣ дѣйствія которыхъ не находится частица a, равно какъ и притяженіе частицъ, лежащихъ внутри $gklk$, не будутъ уже встрѣчать противодѣйствующихъ силъ, потому что соотвѣтствующія части сферы лежатъ внѣ жидкости. Число частицъ, лежащихъ внутри $gkhl$ и дѣйствующихъ притягательно на a, конечно болѣе противу числа частицъ, находящихся въ пространствѣ $oqpl$ и обладающихъ отталкивающей силою. Но послѣднія, вслѣдствіе ближайшаго своего расположенія къ a, могутъ дѣйствовать сильнѣе противу первыхъ. Принимая въ соображеніе это обстоятельство и обративъ вниманіе на то, что отталкивающая часть сферы будетъ увеличиваться по мѣрѣ приближенія частицы a къ поверхности и что отталкиваніе возростаетъ въ большемъ отношеніи противу притяженія, которое вообще у жидкихъ тѣлъ бываетъ весьма слабо, легко понять, почему частицы, образующія верхніе слои жидкости, могутъ претерпѣвать со стороны нижележащихъ давленіе снизу вверхъ сильнѣе противу притяженія, оказываемаго на нихъ по противоположному направленію. Вслѣдствіе того даже при обыкновенной температурѣ частицы, лежащія на поверхности, сами собою переходятъ въ газообразное состояніе или, какъ говорятъ, *испаряются*. Въ этомъ испареніи не трудно убѣдиться каждому, поставивъ на воздухъ тарелку съ водою; жидкость будетъ убывать мало по малу слоями, начиная отъ поверхности. Показанный нами перевѣсъ отталкивающей силы уменьшается быстро по мѣрѣ удаленія отъ поверхности книзу и скоро уничтожается совершенно, вслѣдъ зачѣмъ начинается слой, въ которомъ обнаруживается перевѣсъ давленія книзу.

Фиг. 726.



Если же жидкое тѣло предоставлено самому себѣ въ пространствѣ, такъ что поверхность его остается свободною со всѣхъ сторонъ, то такое тѣло должно принять форму шара, вслѣдствіе давленій стремящихся притягивать съ одинаковою силою во внутренность массы всѣ частицы поверхности тѣла и дѣйствующихъ на нихъ по направленію перпендикулярному къ этой поверхности.

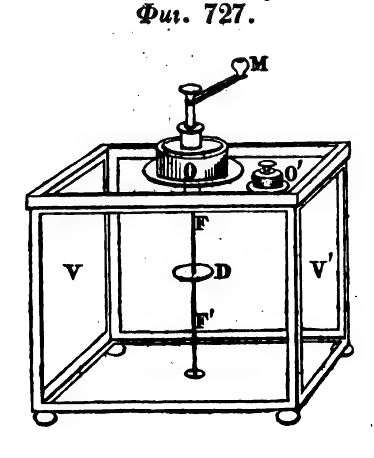
Справедливость этого подтверждается всякій разъ, въ томъ случаѣ, когда жидкое тѣло раздробляется на небольшія массы и когда сверхъ того дѣйствіе частичныхъ силъ въ послѣднихъ не нарушается вліяніемъ другихъ силъ, такъ напр. если жидкость падаетъ небольшими каплями: въ этомъ случаѣ всѣ частицы, падая съ одинаковою скоростію, сохраняютъ во время паденія въ неизмѣнномъ видѣ внутреннія частичныя силы. Такимъ образомъ падаетъ вода во время дождя почти шарообразными каплями. Что же касается до большихъ массъ, то шарообразность формы нарушается значительностію давленія верхнихъ частицъ на нижнія.

Но образованіе жидкостями шарообразной формы вслѣдствіе сцѣпленія, самымъ очевиднымъ образомъ доказываетъ остроумный и важный опытъ Плато. Мы неоднократно имѣли уже случай указывать на тѣ результаты, къ которымъ ведетъ этотъ опытъ и намъ остается здѣсь разсмотрѣть его только съ нѣкоторою подробностію.

Чтобы обнаружить вліяніе частичныхъ силъ на жидкую массу надлежало освободить ее отъ всякаго вліянія постороннихъ силъ. Задачу эту Плато разрѣшилъ слѣдующимъ образомъ.

Жирныя масла, какъ извѣстно, имѣютъ плотность меньшую противу воды и большую противу спирта. Если составить изъ воды и спирта такую смѣсь, которая бы имѣла одинаковую плотность, напр. съ оливковымъ масломъ, то понятно, что при погруженіи въ эту смѣсь извѣстнаго количества масла послѣднее будетъ находиться въ одинаковомъ отношеніи къ окружающей жидкости съ тѣми частицами, мѣсто которыхъ она заняла; во всѣхъ точкахъ жидкости масло будетъ находиться въ равновѣсіи и вся разница между нимъ и вытѣсненною жидкостію будетъ заключаться только въ томъ, что присутствіе перваго замѣтно для глаза, между тѣмъ какъ послѣдняя сливается съ остальною массою жидкости. Чтобы удобнѣе и точнѣе опредѣлить форму принимаемую каплею масла, погруженною въ описанную нами смѣсь, надлежало сдѣлать опытъ въ такомъ сосудѣ, стѣнки котораго не измѣняли бы для глаза формы капли. Вотъ причина, почему Плато не употребилъ для опыта ни сферическаго, ни цилиндрическаго сосудовъ, кривизна стѣнокъ которыхъ, какъ мы увидимъ впослѣдствіи, измѣняетъ для глаза форму тѣлъ. Для опыта Плато взялъ сосудъ съ параллельными стѣнками (фиг. 727) V, V', связанными общей металлической рамкой. Въ крышкѣ этого ящика находятся два отверстія, изъ которыхъ одно большее по срединѣ O затыкается желѣзной пробкой, пропускающей тонкую стеклянную ось FF' съ желѣзнымъ кружкомъ D около 35 миллиметровъ въ діаметрѣ. Ось эта приводится во вращеніе посредствомъ ру-

Фиг. 727.



кояткн *M*. Другое отверстіе *O'* служитъ для наливанія въ сосудъ какъ смѣси, такъ и самаго масла. Наполнивши сосудъ сперва смѣсью (воды и спирта), которой плотность равняется плотности оливковаго масла *. Опускаютъ въ отверстіе *O'* воронку, доходящую до средины сосуда. Въ эту воронку наливаютъ немного оливковаго масла, которое по достиженіи утонченнаго конца воронки образуетъ шарикъ не смѣшивающійся съ остальною жидкостію. Когда діаметръ шарика достигнетъ 2 сантиметровъ, встряхиваютъ воронку въ томъ случаѣ, если шарикъ не отдѣляется отъ нея самъ собою. Если шарикъ опускается на дно смѣси, то значитъ, что тяжесть дѣйствуетъ на него сильнѣе, нежели на ту массу жидкости, мѣсто которой онъ занялъ. Если же плотность его болѣе противу плотности смѣси, то очевидно, что въ послѣдней заключалось спирту болѣе противу надлежащаго и потому слѣдуетъ прилить воды. Точно также, если шарикъ поднимается, то приливаютъ масла. Прибавляя воду или спиртъ, и встряхивая при каждомъ прибавленіи жидкость, можно наконецъ дойти до совершеннаго освобожденія шарика отъ объясненнаго нами дѣйствія тяжести, т. е. что шарикъ не будетъ ни опускаться ни подниматься. Это значитъ, что смѣсь достигла надлежащей плотности. При дальнѣйшемъ прибавленіи масла весьма часто получаются отдѣльные шарики, тогда чрезъ отверстіе *O'* пропускаютъ желѣзную проволоку и протыкаютъ ею наибольшій шарикъ. Шарикъ этотъ приводится въ прикосновеніе съ сосѣднимъ шарикомъ, и протыкаютъ послѣдній оконечностію проволоки, проходящей чрезъ средину перваго шарика; тогда оба шарика соединяются тотчасъ другъ съ другомъ. Послѣ этого переходятъ также къ третьему шарику до тѣхъ поръ, пока вся масса масла не будетъ имѣть въ діаметрѣ отъ 6 до 7 сантиметровъ. Но должно замѣтить, что равновѣсіе полученной массы не будетъ сохраняться долго; послѣ нѣсколькихъ минутъ масло поднимется; тогда прибавляютъ немного спирту. Спустя извѣстное время, мы увидимъ, что равновѣсіе вновь нарушится и новая прибавки спирту сдѣлается необходимою, такъ что только по прошествіи нѣсколькихъ дней мы получимъ устойчивое равновѣсіе. Эта прибавка дѣлается потому, что спиртъ распредѣляется въ смѣси слоями, которыхъ плотность уменьшается, начиная отъ дна сосуда. Чрезъ постепенное прибавленіе спирта мы можемъ наконецъ получить по срединѣ сосуда слой, котораго плотность будетъ равна плотности масла.

По достиженіи этого условія масса масла принимаетъ совершенно шарообразную форму.

Мы описали этотъ опытъ съ нѣкоторою подробностію, потому что онъ весьма поучителенъ по своимъ теоретическимъ примѣненіямъ, между которыми одно изъ главнѣйшихъ есть объясненіе самаго вида земли.

* Смѣсь эта должна показывать около 22 градусовъ на ареометрѣ Бомэ. (См. гидростатика).



Желая войти въ дальнѣйшія подробности опыта Плато, мы считаемъ необходимымъ повторить уже сказанное нами выше, на счетъ наружнаго вида земли.

Представимъ себѣ, что земля представляла нѣкогда жидкое тѣло одинаковой плотности и что она была прежде въ спокойномъ состояніи, не производя вращенія на своей оси. Понятно, что при этихъ условіяхъ масса земли, неподверженная дѣйствію никакихъ посторонних силъ, подобно шарику масла въ опытѣ Плато, должна была имѣть шарообразную форму. Мы могли бы представить ее тогда въ видѣ тѣла, составленнаго изъ безчисленнаго множества шаровыхъ поверхностей. Всѣ точки каждой такой поверхности очевидно должны бы притягиваться одинаково къ центру шара и потому находиться въ равновѣсіи. При вращеніи такого шара на оси всѣ точки его, за исключеніемъ точекъ, лежащихъ на послѣдней, пріобрѣтутъ центробѣжную силу. Вслѣдствіе того точки эти, сообразно величинѣ центробѣжной силы, будутъ или удаляться или стремиться къ удаленію отъ оси вращенія. Стремленіе это будетъ постепенно увеличиваться по мѣрѣ приближенія отъ полюсовъ къ экватору. Если бы напряженіе тяжести не превышало напряженія центробѣжной силы, то земля не могла бы составлять плотной массы. При извѣстномъ же отношеніи между напряженіемъ тяжести и величиною центробѣжной силы, послѣдняя въ состояніи произвести возвышеніе у экватора и сжатіе у полюсовъ. Что подобное явленіе въ дѣйствительности можетъ произойти при вращеніи жидкой массы, показываетъ намъ опытъ Плато. И въ самомъ дѣлѣ, если въ приборѣ, представленномъ нами на фиг. 727-й, подвести шарикъ масла къ желѣзному кружку *D* и привести ось *FF'* въ медленное вращеніе (со скоростію одного оборота въ 5 или 6 секундъ), то мы замѣтимъ ясно сплюснутость у оконечностей оси вращенія и возвышеніе на діаметрѣ перпендикулярномъ къ оси.

Это сжатіе и возвышеніе продолжается постоянно до тѣхъ поръ, пока скорость не превышаетъ двухъ или трехъ оборотовъ въ секунду; за этимъ предѣломъ въ жидкой массѣ образуются углубленія сверху и снизу вокругъ оси вращенія (фиг. 729), при чемъ вся масса вытягивается постепенно по горизонтальному направленію. При дальнѣйшемъ вращеніи масса отдѣляется отъ кружка *D* и образуетъ совершенно правильное кольцо (фиг. 728).

Фиг. 728. *Фиг.* 729.



При началѣ отдѣленія своего кольцо это быстро увеличивается въ діаметрѣ; когда же увеличеніе діаметра прекращается, то перестаютъ вертѣть ось *FF'*. Кольцо остается неизмѣннымъ въ продолженіи нѣсколькихъ секундъ, вращаясь при этомъ вокругъ оси *FF'*. Когда сопротивленіе жидкости прекращаетъ вращеніе, то кольцо собирается снова въ сферическую массу вокругъ кружка *D*.

Вообще, передъ самымъ отдѣленіемъ своимъ, кольцо соединяется съ кружкомъ *D* посредствомъ чрезвычайно тонкаго слоя масла. Въ мгновеніе полнаго развитія кольца, когда перестаютъ вертѣть ось, слой этотъ тотчасъ изчезаетъ самъ собою. По мнѣнію Плато, слой этотъ, дѣйствуя на внутреннюю поверхность кольца, заставляетъ послѣднее принимать удлиненную форму. Вліяніе слоя онъ подтверждаетъ слѣдующимъ явленіемъ: если пріостановить вращеніе оси нѣсколько ранѣе того мгновенія, когда діаметръ кольца достигаетъ наибольшаго предѣла, слой масла не только не разрывается, но приводитъ всю массу къ кружку *D*.

Полученное такимъ образомъ кольцо Плато сравниваетъ съ кольцомъ планеты Сатурна. Этому физику удалось даже получить масляную сферу, окруженную кольцомъ, совершенно похожимъ на кольцо Сатурна.

Если продолжать вращеніе оси во время полнаго образованія кольца, то оно измѣняетъ свою форму и разрывается на нѣсколько массъ, изъ которыхъ каждая вскорѣ принимаетъ сферическую форму. Пріостановивъ тогда вращеніе оси, мы замѣчаемъ новое явленіе: эти отдѣльныя сферы, при самомъ началѣ своего образованія, начинаютъ вращаться вокругъ своихъ осей въ одну сторону съ направленіемъ общаго ихъ вращенія. Явленіе это вполнѣ согласуется съ извѣстной космогонической теоріей Лапласа, разсмотрѣніе которой относится къ курсу астрономіи.

§ 204. Перейдемъ теперь къ воздухообразнымъ тѣламъ. Частицы этихъ тѣлъ, какъ мы уже говорили, обладаютъ способностію расширяться до неопредѣленныхъ границъ, если не будетъ противоставленно предѣловъ этому расширенію. Обстоятельство это не только показываетъ присутствіе расширительной силы, но и самый перевѣсъ ея надъ силой притяженія. А что послѣдняя сила существуетъ между частицами газовъ видно изъ слѣдующаго обстоятельства. Если посредствомъ давленія или охлажденія привести частицы газовъ въ довольно близкое прикосновеніе между собою, то онѣ принимаютъ жидкое состояніе, что конечно не могло бы произойти, если бы между ними не существовало вовсе сцѣпленія. Дѣйств. частичн. силъ въ газахъ.

§ 205. Сила сцѣпленія въ каждомъ изъ этихъ трехъ состояній скопленія тѣлъ, кромѣ внѣшняго давленія, зависитъ также отъ теплоты и, какъ показываютъ опыты, можетъ быть увеличена и уменьшена въ тѣлахъ по мѣрѣ уменьшенія или увеличенія температуры. Зависимость сцѣпленія отъ теплоты.

Если бы предположить, что вся матерія, составляющая землю, была бы въ нѣсколько тысячъ разъ жарче кипящей воды, то вмѣстѣ съ этимъ связь между всѣми частицами матеріи уничтожилась бы совершенно. Если же, на оборотъ, теплота уменьшилась бы на земномъ шарѣ въ нѣсколько тысячъ разъ, то всѣ частицы матеріи вошли бы въ такую тѣсную связь между собою, что мы никакимъ механическимъ образомъ не въ состояніи бы были отдѣлить ихъ другъ отъ друга.

Только при существующемъ положеніи теплоты на землѣ встрѣчаемъ мы всѣ три состоянія скопленія тѣлъ: твердое, жидкое и газообразное.

Наблюденіе показываетъ намъ, что самый переходъ тѣлъ изъ одного состоянія въ другое зависитъ отъ дѣйствія теплоты, чему служитъ примѣромъ вода, которая отъ уменьшенія теплоты или отъ охлажденія переходитъ въ ледъ, а отъ увеличенія теплоты образуетъ пары.

§ 206. *Обратимся теперь къ дѣйствію частичнаго притяженія между разнородными прикасающимися тѣлами.* Дѣйств. частичн. силъ между разнородными тѣлами.

Если тѣла, обладающія различными свойствами, приходятъ во взаимное прикосновеніе между собою, то частицы ихъ оказываютъ взаимное притяженіе, дѣйствіе котораго простирается на весьма незначительномъ, неизмѣнномъ разстояніи. Сила этого притяженія какъ для различныхъ тѣлъ, такъ и для однихъ и тѣхъ же, при различныхъ

обстоятельствахъ, бываетъ различна, поэтому и дѣйствія, производимыя этимъ притяженіемъ, обнаруживаются не одинаковымъ образомъ. Притяженіе это представляетъ слѣдующія явленія:

1) Два прикасающіяся между собою *разнородныя* тѣла пристаютъ другъ ко другу въ иныхъ случаяхъ такъ сильно, что для разъединенія ихъ бываетъ необходимо употребить извѣстное усиліе; явленіе это называютъ *прилипаніемъ*.

2) Во многихъ случаяхъ жидкость не только смачиваетъ поверхность твердаго тѣла, но проникаетъ даже въ поры послѣдняго и, вслѣдствіе сильнаго притяженія обнаруживаемаго частицами жидкости на частицы твердаго тѣла, нарушаетъ связь между послѣдними и заставляетъ ихъ разъединиться, такъ что въ цѣломъ получается однообразная масса, во всѣхъ частицахъ которой легко обнаружить свойства какъ твердаго, такъ и жидкаго тѣла; въ справедливости сказаннаго нами легко убѣдиться, бросивши кусочекъ поваренной соли въ воду. Явленіе называется *растворенiемъ;* самое же соединеніе твердаго тѣла съ жидкимъ — *растворомъ*.

3) Частицы жидкихъ тѣлъ, приведенныя въ прикосновеніе съ частицами другихъ жидкостей, вслѣдствіе взаимнаго притяженія могутъ образовать однородную во всѣхъ частяхъ жидкость, обнаруживающую свойства обѣихъ своихъ составныхъ частей, присутствіе которыхъ легко можетъ быть въ ней замѣчено; подобное явленіе, растворенія происходящее, напр. при влитіи вина въ воду, называется *смѣшеніемъ*.

4) Въ иныхъ же случаяхъ прикасающіяся тѣла дѣйствуютъ съ такимъ сильнымъ притяженіемъ другъ на друга, что частицы ихъ приходятъ въ разъединенное состояніе и образуютъ совершенно новое однородное соединеніе, въ которомъ составныя части не только ускользаютъ отъ нашихъ чувствъ, но совершенно теряютъ свои характеристическіе признаки. Притяженіе, вслѣдствіе котораго два разнородныя тѣла образуютъ новое, однородное соединеніе, называютъ *химическимъ притяженіемъ* или *сродствомъ*.

Прилипаніе. § 207. Сила прилипанія зависитъ отъ вещества прикасающихся тѣлъ, отъ количества прикасающихся точекъ (слѣдовательно отъ гладкости ихъ поверхностей) и также отъ температуры. Прилипаніе наиболѣе обнаруживается между твердыми и жидкими тѣлами, потому что послѣднія вслѣдствіе легкой подвижности ихъ частицъ могутъ входить въ весьма близкое прикосновеніе съ твердыми тѣлами.

Фиг. 730 и 731.





На фиг. 730 представленъ самый простой способъ обнаруженія прилипанія между стеклянной палочкой и водою, а на фиг. 731 между стеклянной пластинкой и поверхностію воды; при поднятіи пластинки поднимается вмѣстѣ съ нею и слой жидкости, такъ что для оторванія пластинки необходимо употребить извѣстное усиліе. Величина этого усилія не можетъ быть опредѣлена съ точностію нашимъ собственнымъ

чувствомъ и потому для ближайшаго изслѣдованія силы прилипанія употребляютъ слѣдующій способъ. Привязываютъ нитку пластинки къ крючку, прикрѣпленному къ нижней части одной изъ чашекъ вѣсовъ, и кладутъ на другую чашку гири до тѣхъ поръ, пока коромысло не приметъ совершенно горизонтальнаго положенія; потомъ ставятъ подъ пластинкою сосудъ съ водою и поднимаютъ его до тѣхъ поръ, пока поверхность воды не придетъ въ прикосновеніе съ пластинкою. Желая оторвать пластинку отъ поверхности воды, намъ должно будетъ приложить нѣсколько грановъ на другую чашку вѣсовъ. Если прибавлять небольшія гири постепенно, такъ напр. $^1/_{10}$ ч. грана, то мы можемъ съ точностію остановить ея на томъ грузѣ, при которомъ произойдетъ разрывъ и который долженъ опредѣлять величину сопротивленія встрѣчаемаго при разрывѣ. Но это сопротивленіе не происходитъ въ настоящемъ случаѣ отъ прилипанія, потому что поднятая стеклянная пластинка остается смоченною водою на нижней своей поверхности: слѣдовательно произошелъ разрывъ не между пластинкою и водою, но только между частицами воды и по этому въ настоящемъ опытѣ мы собственно преодолѣли силу сцѣпленія воды. Опытъ этотъ показываетъ, что *одинаковыя пластинки различныхъ веществъ, смачивающихся водою, требуютъ постоянно одинаковаго напряженія для оторванія ихъ отъ послѣдней.* Изъ того же опыта слѣдуетъ, что жидкости, смачивающія твердое тѣло, обнаруживаютъ къ этому тѣлу прилипаніе, напряженіе котораго превосходитъ силу сцѣпленія частицъ жидкости. Вслѣдствіе того жидкости не только пристаютъ къ твердымъ тѣламъ, но распространяются на ихъ поверхности, расплываются и даже теряютъ шарообразный видъ въ томъ случаѣ, если при самомъ началѣ прилипанія онѣ имѣли форму каплей. Слѣдовательно, *намачиваніе твердаго тѣла показываетъ, что сила сцѣпленія въ жидкихъ тѣлахъ менѣе притяженія, обнаруживаемаго между ними и твердыми тѣлами.*

Подтвержденіемъ этого могутъ служить капли воды, намачивающія стеклянныя или деревянныя пластинки, капли ртути, пристающія къ олову, свинцу, серебру и золоту. Если погрузить одинъ изъ этихъ металловъ въ ртуть, то по выступленіи его наружу послѣдняя будетъ показывать совершенно всю погруженную часть, что и показываетъ значительность прилипанія, существующаго между взятымъ нами металломъ и ртутью.

Обратное явленіе представляетъ намъ стеклянная пластинка, погруженная въ ртуть (фиг. 732). Если прикрѣпленную къ вѣсамъ пластинку привести въ прикосновеніе со ртутью, то она остается повисшею на ртути и для отдѣленія пластинки достаточно приложить извѣстный вѣсъ на другую чашку вѣсовъ; но въ этомъ случаѣ пластинка не будетъ уже смочена жидкостію; поэтому вѣсъ гири, употребленной для разъединенія, будетъ служить истинной мѣрой прилипанія, которое существуетъ между стекломъ и ртутью, и которое въ настоящемъ случаѣ менѣе сцѣпленія между частицами ртути.

Фиг. 732.

Если производить опытъ съ различными, но одинаковой величины пластинками, не смачивающимися ртутью, то найдемъ, что должно будетъ употребить различнаго вѣса гири, а это показываетъ, что между ртутью и различными веществами прилипаніе не одинаково. Изъ этого слѣдуетъ, что *капли жидкости, у которыхъ сцѣпленіе сильнѣе противу прилипанія ихъ къ твердымъ тѣламъ, не расплываются по поверхности послѣднихъ, но сохраняютъ свою шарообразную форму.*

Такимъ образомъ капли ртути сохраняютъ шарообразность на желѣзныхъ и стеклянныхъ пластинкахъ, хотя онѣ и притягиваются стекломъ, потому что небольшія стеклянныя капли, находящіяся на стеклянной пластинкѣ, висятъ на ней даже и по перевертываніи пластинки.

Если намазать поверхность стеклянной пластинки тончайшимъ слоемъ сала, то вода не будетъ уже намачивать этой поверхности; падающія на эту поверхность водяныя капли не расплываются, но сохраняютъ свой шарообразный видъ. Явленіе это показываетъ, что *притяженіе частицъ стекла простираетъ свое дѣйствіе только на весьма маломъ, неизмѣримомъ разстояніи*, справедливость чего подтверждается также и тѣмъ, что увеличеніе толстоты пластинки не усиливаетъ нисколько притяженія между нею и жидкостію. Поэтому только тогда частицы стекла производятъ притяженіе, когда онѣ лежатъ весьма близко къ частицамъ воды; при замѣтномъ же удаленіи притяженіе становится недѣйствительнымъ.

Слабое прилипаніе между жиромъ и водою служитъ причиною, почему жирныя перья, такъ называемыхъ, водяныхъ птицъ не смачиваются водою.

Сопротивленіе, встрѣчаемое при отрываніи пластинокъ отъ поверхности жидкости, не смачивающей ихъ, возрастаетъ съ величиною пластинокъ и съ уменьшеніемъ температуры; изъ этого слѣдуетъ, что *прилипаніе усиливается съ увеличеніемъ числа прикасающихся точекъ и уменьшается съ нагрѣваніемъ жидкости.*

Явленіе прилипанія имѣетъ большое примѣненіе въ общежитіи; писаніе основано на прилипаніи между бумагою и чернилами; если покрыть бумагу слоемъ жиру, то чернила не пристаютъ уже къ ней, потому что частицы чернилъ оказываютъ между собою сильнѣйшее сцѣпленіе противу притяженія, происходящаго между ними и жиромъ. На прилипаніи основывается рисованіе карандашемъ, литографированіе, покрытіе предметовъ красками и лакомъ, употребленіе разныхъ смазокъ: глины, клейстера и подобныхъ матеріяловъ, соединяющихъ частицы металловъ, камней, дерева, кожи, бумаги и др. Сюда же должно отнести употребленіе смазки и спаиваніе. Цементъ (смѣсь гашеной извести и песку) имѣетъ свойство прилипать къ скважистымъ камнямъ и по высушкѣ держаться крѣпко на нихъ; но для высушки цемента (безъ чего не можетъ произойти связыванія его) необходимо, чтобы заключающаяся въ воздухѣ углекислота могла соединяться съ известію и чтобы вытѣсняемая изъ извести вода могла переходить въ воздухъ въ видѣ паровъ; поэтому для высушки цемента доступъ атмосфернаго воздуха составляетъ необходимое условіе.

Прилипаніемъ объясняется, почему жидкость, выливаемая медленно изъ сосуда, стекаетъ по внѣшнимъ краямъ его, въ особенности если стаканъ мало наклоненъ. Для устраненія этого обыкновенно нагибаютъ стаканъ такимъ образомъ, чтобы между выливаемою жидкостію и стѣнками сосуда образовалось достаточное разстояніе, которое бы могло воспрепятствовать дѣйствію прилипанія.

Чтобы уменьшить при выливаніи число точекъ прикосновенія жидкости къ стакану, послѣдній снабжается остроконечнымъ выступомъ (фиг. 733), въ видѣ носика, какъ напр. у чайниковъ, кружекъ и другихъ сосудовъ. Того же самаго достигаютъ смазываніемъ стакана саломъ въ томъ мѣстѣ, гдѣ должна вытекать жидкость, не смачивающая сало.

Фиг. 733.

Если жидкость бываетъ мутна, то это значитъ, что въ ней заключаются нерастворимыя твердыя частицы. Вслѣдствіе притяженія между ними и частицами жидкости первыя, судя по относительному своему вѣсу, или опадаютъ медленно книзу, или собираются близь поверхности жидкости. Для воспрепятствованія этого прилипанія между твердымъ и жидкимъ тѣломъ, достаточно произвести хотя незначительное измѣненіе въ свойствѣ жидкости. Такъ напр. извѣстно, что вода прудовъ и рѣкъ, отъ частыхъ дождей, вслѣдствіе присутствія множества мелкихъ глиняныхъ частицъ дѣлается весьма мутною, даже послѣ нѣсколькихъ недѣль отстаиванія и частаго фильтрированія (процѣживанія), нельзя ее сдѣлать чистою и прозрачною. Но если въ эту мутную воду погрузить на нѣсколько мгновеній кусочекъ квасцовъ, то тотчасъ происходитъ быстрое осаживаніе частицъ, бывшихъ причиною мутности. Достаточное для этого количество квасцовъ такъ незначительно, что слѣды ихъ едва могутъ быть открыты въ водѣ.

Прилипаніе служитъ причиною, почему пыль держится на отвѣсныхъ стѣнахъ, тогда какъ вслѣдствіе тяжести она должна падать книзу. Въ природѣ встрѣчаются тѣла, состоящія изъ различныхъ крѣпко приставшихъ между собою частей, какъ напр. гранитъ, состоящій изъ видимыхъ частей кварца, полеваго шпата и слюды. На прилипаніи, обнаруживающемся между твердыми тѣлами, основывается *позолота* и *посеребреніе*; при чемъ дерево, камни, гипсъ, стекло, бумага покрываются тонкимъ слоемъ золота или серебра; иногда этотъ слой увеличивается въ толщинѣ и тогда называютъ его *накладной работой*. Поверхность вещества, назначенная для принятія слоя металла, должна быть тщательно очищена и отполирована. Покрытіе мѣдныхъ сосудовъ оловомъ (луженіе), равно какъ покрытіе стеклянныхъ досокъ амальгамой (т. е. соединеніемъ олова со ртутью), основываются на сильномъ прилипаніи, существующемъ между этими тѣлами. При всѣхъ этихъ производствахъ, въ помощь прилипанію, присоединяютъ давленіе для того, чтобы привести въ ближайшее прикосновеніе поверхности тѣлъ и тѣмъ увеличить взаимное притяженіе ихъ. Такъ напр. при покрытіи мѣди слоемъ серебра поступаютъ слѣдующимъ образомъ: хорошо очищенныя пластинки мѣди покрываются тонкими листами серебра, такъ чтобы послѣднее выходило за края мѣдной доски почти на линію; эти выступы загибаются; нагрѣваютъ мѣдь между двумя сдавливающими вращающимися цилиндрами Давленіе цилиндровъ приводитъ частицы серебра въ такое близкое прикосновеніе съ мѣдью, что оба эти тѣла, вслѣдствіе сильнаго взаимнаго притяженія, получаютъ крѣпкую связь.

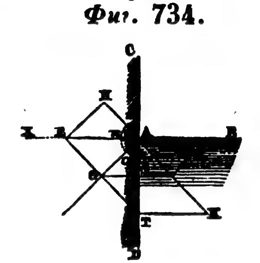
Что прилипаніе существуетъ между жидкостями, видно изъ слѣдующаго опыта. Если опустить каплю масла на поверхность воды, то капля не сохраняетъ своей шарообразной формы, но расплывается по поверхности воды. Это расплываніе происходитъ еще скорѣе у эѳирныхъ маслъ (какъ напр. у терпентиннаго масла и др.) нежели у жирныхъ, потому что первые обнаруживаютъ къ водѣ сильнѣйшее прилипаніе противу послѣднихъ. Изъ этого обстоятельства видно, что если опустить эѳирное масло на жирное, плавающее на поверхности воды, то первое должно вытѣснить послѣднее. Эѳирныя масла также вытѣсняются извѣстными соками растеній, которыя, въ свою очередь, вытѣсняются виннымъ спиртомъ, потому что послѣдній обнаруживаетъ къ водѣ сильнѣйшее прилипаніе противу масла.

§ 208. Если разсматривать форму свободной поверхности какой нибудь жидкости въ сосудѣ, то легко замѣтить, что по длинѣ стѣнки сосуда она или поднимается, или опускается, смотря потому, сма- Вліяніе прилипанія на равнов. жидкостей.

чиваетъ ли эта жидкость твердое вещество стѣнки, или нѣтъ; такимъ образомъ, напримѣръ, вода поднимается по стѣнкамъ хрустальнаго сосуда, потому что вода смачиваетъ хрусталь, тогда какъ въ томъ же сосудѣ ртуть сжимается, потому что она не имѣетъ способности смачивать хрусталь. На основаніи сказаннаго выше легко понять, что эти явленія должны зависѣть отъ притяженія между частицами твердой стѣнки и частицами жидкости и отъ взаимнаго притяженія послѣднихъ.

Равновѣсіе жидкости, какъ мы уже знаемъ, требуетъ, чтобы равнодѣйствующія силъ, дѣйствующихъ на частицы жидкости, были перпендикулярны къ поверхности ея; положимъ, что *AB* (фиг. 734) представляетъ горизонтальную поверхность жидкости; *CD* вертикальную стѣнку сосуда, касающуюся жидкости въ точкѣ *A; AX* продолженіе горизонтальной поверхности *AB* за стѣнкой сосуда. Притяженіе, оказываемое частицами твердой массы стѣнки на частицы жидкости, расположенныя въ *A*, можетъ произойти только отъ твердыхъ частицъ, расположенныхъ внутри шара *mno*, котораго радіусъ долженъ быть чрезвычайно малъ, потому что частичныя притяженія обнаруживаются, какъ мы уже говорили, только на весьма малыхъ разстояніяхъ. Но, каково бы ни было это притяженіе, ясно, что часть его, производимая частицами, заключающимися въ четверти шара, соотвѣтствующей прямому углу *XAD*, должна быть выражена длиною *AG*, взятой на линіи дѣлящей пополамъ уголъ *XAD;* другая же часть притяженія, производимаго частицами находящимися въ четверти *mn*, точно также должна быть выражена длиною *AH* равною *AG*, взятою на линіи дѣлящей пополамъ уголъ *XAC*. Потому полное дѣйствіе стѣнки выразится діагональю *AE* квадрата *AHEG*. Подобнымъ же образомъ притяженіе, претерпѣваемое жидкою частицею *A* со стороны самой жидкости, можетъ быть произведено только жидкими частицами, составляющими четверть шара *qr*, описаннаго чрезвычайно малымъ радіусомъ, и потому должно быть выражено извѣстною длиною *AK*, взятою на прямой, дѣлящей пополамъ уголъ *DAB*. Слѣдовательно равнодѣйствующая силъ, дѣйствующихъ на точку *A*, будетъ собственно равнодѣйствующая силъ *AE* и *AK*.

Фиг. 734.

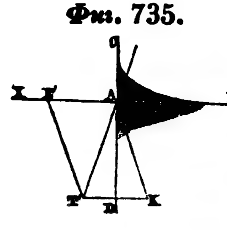


Для опредѣленія взаимнаго отношенія этихъ силъ въ различныхъ обстоятельствахъ найдемъ сначала условія для того случая, когда равнодѣйствующая ихъ будетъ линія отвѣсная къ поверхности жидкости.

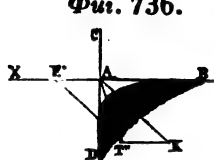
Допустивъ это предположеніе, мы очевидно разсматриваемъ тотъ случай, когда при горизонтальномъ положеніи поверхности точка *A* находится въ равновѣсіи; слѣдовательно дѣйствіе стѣнокъ сосуда, выражаемое линіями *AK* и *AG*, должно быть равно дѣйствію жидкости на точку *A*, т. е. дѣйствію *AK;* но какъ *AH* и *AG* равны между собою, то отсюда слѣдуетъ, что для взятаго нами случая *AG* должно быть равно $^1/_2$ *AK*.

Если при постоянно одинаковомъ взаимномъ притяженіи частицъ жидкости предположимъ, что увеличивается притяженіе твердой массы стѣнки на жидкость и сдѣлается, напр. равнымъ AE' (фиг. 735), то очевидно, что вмѣстѣ съ тѣмъ должна увеличиться и общая равнодѣйствующая; положимъ, что величина ея выразится теперь линіею AT'. Какъ направленіе этой равнодѣйствующей будетъ проходить въ уголъ CAB, то равновѣсіе можетъ существовать въ точкѣ A только тогда, когда жидкость въ этомъ углѣ поднимется по длинѣ стѣнки и поверхность ея приметъ вслѣдствіе того вогнутую форму. Напротивъ, если дѣйствіе твердой массы уменьшается и сдѣлается, напр. равнымъ AE'' (фиг. 736), то новая равнодѣйствующая AT'', будетъ уже проходить въ уголъ XAC и для существованія равновѣсія необходимо, чтобы жидкость отдѣлилась отъ точки A, причемъ очевидно поверхность ея должна будетъ принять выпуклую форму.

Фиг. 735.



Фиг. 736.

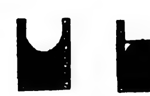


Поэтому, если означимъ чрезъ d притяженіе, оказываемое стѣнкою на жидкость, а чрезъ d' взаимное притяженіе частицъ жидкости, то поднятіе или опусканіе ея у стѣнки будетъ зависѣть отъ отношенія между $2d$ и d', т. е. будетъ ли $2d$ болѣе или менѣе d'; величины же d и d' очевидно зависятъ отъ вещества тѣлъ, обнаруживающихъ эти силы; слѣдовательно величина и направленіе равнодѣйствующей будетъ находиться въ прямой зависимости отъ свойствъ прикасающихся тѣлъ.

Разсмотримъ теперь, какимъ образомъ должны происходить эти явленія между поверхностями, находящимися въ близкомъ разстояніи между собою. Между этими явленіями наибольшую важность по своимъ примѣненіямъ представляютъ явленія, происходящія внутри трубокъ весьма узкаго діаметра и вообще между порами твердыхъ тѣлъ. Если, напримѣръ, погрузить въ жидкость нижнюю оконечность трубки весьма узкаго діаметра, то мы увидимъ, что жидкость поднимется болѣе со внутренней стороны трубки, нежели со внѣшней; если опустить въ жидкость нижнюю часть куска сахару, то она поднимется въ порахъ его до самой верхней части.

Для объясненія этого явленія начнемъ съ самаго простѣйшаго случая, т. е. представимъ себѣ, что въ воду погружены нижнія части двухъ отвѣсныхъ и параллельныхъ между собою стеклянныхъ пластинокъ (фиг. 737). Если пластинки достаточно удалены другъ отъ друга, то вода поднимется немного на поверхности каждой изъ нихъ и будетъ сохранять одинъ уровень какъ между пластинками, такъ и по обѣ наружныя стороны ихъ; сближая же пластинки и приводя ихъ въ близкое прикосновеніе между собою, мы увидимъ, что незначительныя до того возвышенія у самыхъ поверхностей пластинокъ будутъ подниматься въ пространствѣ между двумя пластинками; въ этомъ случаѣ частицы жидкости, поднятыя стѣнками, притягивая къ себѣ близь лежащій слой жидкости, приподнимаютъ его немного;

Фиг. 737 и 738.



этотъ послѣдній дѣйствуетъ точно также на прилежащій къ нему слой и такимъ образомъ жидкость образуетъ между пластинками вогнутую поверхность. Если же жидкость не намачивается стѣнками, то между послѣдними получится шарообразное возвышеніе (фиг. 738).

Фиг. 739.

Волосность. Весьма узкія трубки называются *капилярными* или *волосными*, потому что діаметръ ихъ сравниваютъ, такъ сказать, съ толщиною волоса; явленія же поднятія и опусканія жидкости въ этихъ трубкахъ (фиг. 739 и 740) называютъ *капилярностію* или *волосностію*. Впослѣдствіи сохранили это названіе для всѣхъ явленій, зависящихъ отъ той же причины.

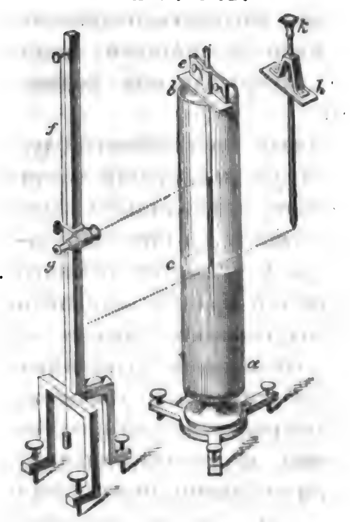
Ф. 740.

Опытъ показываетъ намъ, что жидкость поднимается тѣмъ выше въ капилярныхъ трубкахъ, чѣмъ уже діаметръ ихъ, и что величина поднятія жидкости обратно пропорціональна діаметру трубки.

Для повѣрки этого закона на самомъ дѣлѣ должно сперва опредѣлить діаметры различныхъ капилярныхъ трубокъ, потомъ погрузить ихъ въ одну и туже жидкость и измѣрить высоты столбовъ жидкости, поднятой въ каждой изъ нихъ, вслѣдствіе капилярности. Опредѣленіе діаметра волосной трубки, кажущееся съ перваго взгляда невозможнымъ, въ дѣйствительности не представляетъ большихъ затрудненій. Для этого опредѣляютъ вѣсъ ртути, заключающейся въ трубкѣ извѣстной длины; частное, происшедшее отъ раздѣленія вѣса ртути на ея плотность, даетъ намъ объемъ ея. Зная объемъ ртути и длину занимаемаго ею цилиндрическаго столба, не трудно уже, на основаніи извѣстныхъ геометрическихъ правилъ, опредѣлить діаметръ послѣдняго, который очевидно будетъ равняться опредѣленному нами діаметру капилярной трубки ($\pi r^2 l = v$).

Опредѣливъ діаметры трубокъ, должно, какъ мы уже сказали, погрузить ихъ въ одну и туже жидкость и замѣтить для каждой трубки высоту ея надъ остальною жидкостію, окружающею каждую трубку съ наружней стороны. Для этого утверждаютъ трубку въ перпендикулярномъ направленіи къ пластинкѣ *e* (фиг. 741), посредствомъ двухъ небольшихъ отвѣсныхъ дощечекъ, сжимающихъ нѣсколько верхнюю часть трубки. Пластинку *e*, вмѣстѣ съ трубкой, ставятъ на горло *b* цилиндрическаго стекляннаго сосуда, заключающаго извѣстную жидкость; потомъ всасываютъ осторожно жидкость чрезъ верхнюю оконечность трубки и прекращаютъ всасываніе тотчасъ, когда замѣтятъ, что жидкость проникла во внутренность нижней части трубки. Вслѣдъ за тѣмъ жидкость поднимается въ трубкѣ сама собою до извѣстной высоты. Чтобы опредѣлить высоту эту надъ уровнемъ *c* жид-

Фиг. 741.



кости въ цилиндрическомъ сосудѣ, прибѣгаютъ къ помощи катетометра, который располагается съ этою цѣлію въ извѣстномъ удаленіи отъ прибора. Сперва наводятъ ось трубы *g* катетометра на верхушку поднявшагося столба жидкости; потомъ подводятъ пластинку *e* къ самому краю цилиндрическаго сосуда и на мѣсто ея помѣщаютъ пластинку *h*, снабженную небольшой палочкой *k*, которая соединена съ верхнею частію пластинки посредствомъ винта. Вращая винтъ, приводятъ заостренный конецъ палочки въ прикосновеніе съ поверхностію жидкости въ сосудѣ. Послѣ того съ помощію небольшаго прибора, наподобіе ливера, удаляютъ не много жидкости изъ цилиндра и опускаютъ трубку катетометра до тѣхъ поръ, пока лучъ зрѣнія, направленный по оси ея, не встрѣтитъ нижняго конца палочки *k*. Различіе между высотами обоихъ положеній трубы можетъ быть опредѣлено посредствомъ дѣленій отвѣснаго столба *f*; оно даетъ намъ искомую высоту жидкости, поднявшейся въ капилярной трубкѣ.

Чтобы получить точные результаты, т. е. чтобы возвышеніе жидкости въ одной и той же трубкѣ было при каждомъ опытѣ одинаковое, должно удалить съ ихъ стѣнокъ всѣ жирныя вещества, которыя обыкновенно пристаютъ къ стеклу; трубки промываются предварительно спиртомъ и растворами различныхъ кислотъ.

Съ помощію подобныхъ опытовъ Гэ-Люссакъ нашелъ, что высоты *жидкости, поднимающейся въ волосныхъ трубкахъ обратно пропорціональны діаметрамъ ихъ* и что законъ этотъ примѣнимъ только къ трубкамъ, діаметръ которыхъ не превосходитъ 2 или 3 миллиметровъ.

Высота столбовъ жидкости поднятой въ одной и той же трубкѣ измѣняется съ веществомъ жидкости, съ плотностію и съ температурою ея. Такъ напр. вода поднимается въ стеклянной трубкѣ, имѣющей миллиметръ въ діаметрѣ до 3^{mm} при температурѣ 8^0 Ц., между тѣмъ какъ спиртъ поднимается при той же температурѣ только до 13^{mm}. При 16^0 послѣдняя жидкость поднимается только до 9^{mm}.

Высоты не зависимы отъ толстоты стѣнокъ трубки; это служитъ доказательствомъ, что притяженіе между твердыми и жидкими тѣлами совершается только на безконечно маломъ разстояніи.

Кромѣ того высоты поднявшейся жидкости одинаковы какъ въ воздухѣ, такъ и въ пустотѣ, а это показываетъ, что давленіе воздуха не обнаруживаетъ никакого вліянія на явленія капилярности.

Явленія восхожденія обнаруживаютъ только жидкости намачивающія твердыя тѣла; *въ противномъ случаѣ происходитъ пониженіе уровня жидкости въ трубкѣ надъ остальною жидкостію* въ сосудѣ.

Примѣръ такого пониженія представляетъ намъ стеклянная трубка погруженная въ сосудъ со ртутію (фиг. 740). Опыты показываютъ, что законы пониженія одинаковы съ законами восхожденія.

Результаты опытовъ Гэ-Люссака представлены въ слѣдующей таблицѣ.



Названія веществъ.	Плотность.	Темпера-тура.	Поднятіе въ трубкахъ, которыхъ діаметръ былъ:		
			1,2944 миллиметра.	1,9038 милл.	10,508 милл.
Вода	1	8,5° Ц.	23,1634	15,5861	—
Спиртъ. . .	0,8196	8	9,1823	6,4012	—
»	0,8595	10	9,301	—	—
»	0,9415	8	9,997	—	—
»	0,8135	16	7,078	—	—
Терпентинное масло.	0,8695	8	9,8516	—	—

Для трубокъ же въ 1 миллиметръ было вычислено слѣдующее поднятіе, на основаніи подтвержденнаго опытомъ закона отношеній между высотами жидкости и діаметрами трубки.

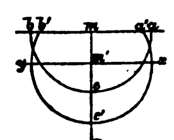
Названія веществъ.	Плотность.	Темпера-тура.	Поднятіе въ трубкѣ, имѣющей 1 миллим. въ діаметрѣ.
Вода	1	8,5° Ц.	29,79mm
Спиртъ	0,8196	8	12,18
»	0,8135	16	9,15
»	0,8595	10	12,01
»	0,9415	8	12,91
Терпентинное масло.	0,8695	8	12,72

Объясненіе волосности.

§ 209. Чтобы объяснить причины поднятія и опусканія жидкостей въ волосныхъ трубкахъ, мы изслѣдуемъ предварительно, какое дѣйствіе должна производить жидкость на рядъ частицъ, лежащихъ на линіи перпендикулярной къ ея поверхности, и для этого возмемъ три случая: когда поверхность представляетъ горизонтальную плоскость, когда она бываетъ выпукла и, наконецъ, когда она бываетъ вогнута.

1) Положимъ сперва, что поверхность представляетъ горизонтальную плоскость и что линія mn (фиг. 742) означаетъ линію частицъ перпендикулярныхъ къ поверхности. Если взять точку m за центръ и описать шаръ радіусомъ mc, равнымъ наибольшему разстоянію, на которомъ можетъ дѣйствовать частичное притяженіе, то частица m будетъ претерпѣвать притяженія со стороны всѣхъ частицъ жидкости полушара abc. Равнодѣйствующая всѣхъ этихъ отдѣльныхъ притяженій, по причинѣ симметрическаго расположенія ихъ направленій, будетъ очевидно

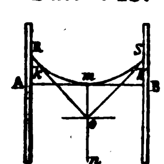
Фиг. 742.



перпендикулярна къ поверхности жидкости. Подверженная ея дѣйствію частица m, будетъ поэтому стремиться опускаться во внутренность жидкости. Тоже самое мы можемъ сказать и о частицѣ m', лежащей также на линіи mn; но сила, съ которою она стремится опуститься во внутренность жидкости, будетъ уже менѣе противу предъидущаго случая, потому что эта сила составляетъ разность между притяженіемъ жидкости въ полушарѣ $xc'y$ и притяженіемъ жидкости въ сегментѣ $a'x'yb'$ ($cc'=mc-mc$). Тотъ же результатъ мы получимъ и для прочихъ ниже лежащихъ частицъ. Изъ этого видно, что частицы, расположенныя на линіи mn, стремятся опуститься во внутрь массы съ напряженіями, величина которыхъ уменьшается по мѣрѣ удаленія частицъ отъ поверхности; сверхъ того, не трудно замѣтить, что частицы жидкости, расположенныя ниже точки c, подвержены одинаковымъ дѣйствіямъ со всѣхъ сторонъ, потому что, взявши каждую изъ этихъ частицъ за центръ, мы можемъ для каждой изъ нихъ получить внутри жидкости полную сферу притяженія. Но хотя равнодѣйствующая притягательныхъ силъ и уменьшается, по мѣрѣ удаленія частицъ отъ поверхности, однакоже давленіе, происходящее вслѣдствіе этихъ силъ, начиная отъ поверхности, постепенно увеличивается до точки c, потому что давленіе, производимое на каждую частицу, состоитъ изъ суммы давленій, претерпѣваемыхъ всѣми частицами, лежащими выше ея. Поэтому давленіе бываетъ наибольшее въ точкѣ c и остается неизмѣннымъ для всѣхъ ниже лежащихъ точекъ; назовемъ это наибольшее давленіе чрезъ A.

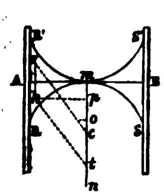
2) Предположимъ теперь, что жидкость представляетъ вогнутую поверхность (фиг. 743) и означимъ линіею mn послѣдовательный рядъ частицъ жидкости, а линіею AB разрѣзъ плоскости касательной къ точкѣ m, принадлежащей поверхности RmS. Не трудно замѣтить, что частицы, заключенныя въ пространствѣ между этою плоскостію и поверхностію жидкости, должны оказывать стремленіе къ поднятію частицъ, расположенныхъ по линіи mn. И въ самомъ дѣлѣ, дѣйствіе, производимое какою нибудь частицею k, заключающеюся въ этомъ пространствѣ, называемомъ обыкновенно *мениском*ъ, на частицу o линіи mn, можетъ быть разложено на двѣ силы; одну горизонтальную и другую вертикальную; горизонтальная сила будетъ уничтожаться равною и противоположною силой, обнаруживаемой частицею k', которая расположена симметрически въ другой части мениска; вертикальная же сила будетъ стремиться приподнимать частицу o. Тотъ же самый результатъ мы получимъ и для дѣйствія всѣхъ другихъ частицъ. Поэтому, если назвать чрезъ M полное дѣйствіе вогнутаго мениска $RABS$ и если обратить вниманіе, что это дѣйствіе противоположно выведенному нами выше дѣйствію A относительно плоской поверхности AB, то получимъ для величины давленія, стремящагося опустить частицы, лежащія на линіи mn, во внутрь жидкости, разность между A и M или $A-M$.

Фиг. 743.



3) Представимъ себѣ наконецъ выпуклую поверхность и означимъ, по прежнему, линіею mn (фиг. 744) послѣдовательный рядъ частицъ, а линіею AB разрѣзъ плоскости касательной къ точкѣ m, принадлежащей поверхности RmS. Положимъ, что вогнутый менискъ $R'ABS'$ совершенно одинаковъ съ менискомъ $RABS$. Опредѣлимъ сперва дѣйствіе, обнаруживаемое жидкостію мениска $RABS$ на частицы расположенныя по линіи mn. Возмемъ какую нибудь точку k, проведемъ перпендикуляръ kp и отложимъ часть $op = mp$. Отвѣсныя силы, происходящія отъ дѣйствія частицы k на части op и mp, взаимно уничтожаются какъ равныя и противоположныя; остается только разсмотрѣть дѣйствіе ея на точки линіи mn, лежащія ниже o. Это дѣйствіе очевидно стремится ихъ приподнять совершенно одинаково съ дѣйствіемъ вогнутаго мениска $R'ABS'$. И въ самомъ дѣлѣ, если взять точку v, расположенную симметрически съ точкою k относительно плоскости AB, и если провести чрезъ точки k и v линіи kt и vc, выражающія величины наибольшаго дѣйствія этихъ точекъ, то частица k будетъ дѣйствовать только на частицы линіи mn, заключающіяся между o и t, а частица v на частицы между m и c. Какъ линіи ot и mc равны другъ другу и точки ихъ находятся на соотвѣтственно равныхъ разстояніяхъ отъ точекъ k и v, то дѣйствія послѣднихъ частицъ должны быть равны между собою. Тоже самое мы можемъ сказать и о всѣхъ прочихъ частицахъ; положимъ теперь, что величина дѣйствія каждаго изъ менисковъ будетъ M, слѣдовательно давленіе, производимое менискомъ $RABS$ на линію mn, будетъ имѣть отрицательное значеніе, т. е. $-M$; назвавъ чрезъ x величину давленія жидкости, образующей выпуклую поверхность, получимъ, что A будетъ равно $-M+x$; откуда $x = A+M$.

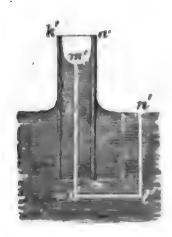
Фиг. 744.



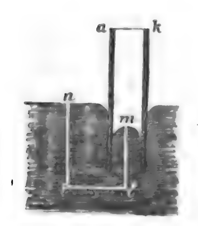
Изъ разсмотрѣнныхъ нами трехъ случаевъ слѣдуетъ, что давленіе, производимое жидкостію на частицы, расположенныя по линіи отвѣсной къ ея поверхности, можетъ быть равно A, $A-M$ и наконецъ $A+M$, смотря потому, горизонтальную, вогнутую или выгнутую поверхность представляетъ жидкость.

На этомъ основаніи легко уже объяснить какъ поднятіе, такъ и опусканіе жидкости. Положимъ напр., что въ жидкость, намачивающую стекло, погружена стеклянная трубка волоснаго діаметра. Представимъ себѣ внутри жидкости небольшой каналъ $m'i'l'n'$ (фиг. 745), идущій отъ вогнутаго мениска и оканчивающійся у какой нибудь точки n' горизонтальной поверхности.

Фиг. 745.



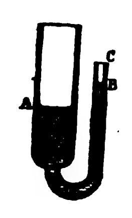
Фиг. 746.



Если давленія, происходящія вслѣдствіе взаимнаго дѣйствія частицъ жидкости и опускающія книзу верхніе слои, на обѣихъ поверхностяхъ одинаковы, то очевидно, что дѣйствія ихъ должны взаимно уничтожаться и жидкость, покоряющаяся однимъ законамъ тяжести, будетъ стоять на одной высотѣ въ обоихъ рукавахъ представленнаго нами канала и точки i' и l' будутъ претерпѣвать одинаковыя давленія. Это будетъ въ томъ случаѣ, когда поверхность жидкости въ трубкѣ находится на одномъ уровнѣ съ остальною жидкостію. Положимъ теперь, что жидкость образуетъ въ трубкѣ вогнутую поверхность. Поверхность эта, какъ мы уже знаемъ, стремится приподнимать частицы и поэтому противодѣйствуетъ давленію книзу, которое очевидно, вслѣдствіе того, будетъ менѣе нежели въ точкѣ n'. Изъ этого слѣдуетъ, что i' и l' получаютъ уже различныя давленія книзу, и какъ на точку l' дѣйствуетъ большее давленіе, то очевидно, что превышающее давленіе это распространится по всему воображаемому нами каналу, по направленію отъ n' до m', и заставитъ приподниматься частицы $m'i'$ до тѣхъ поръ, пока избытокъ давленія въ n' въ состояніи будетъ поддерживать въ равновѣсіи приподнятый столбъ жидкости. Если же жидкость представляетъ въ трубкѣ выпуклую поверхность (фиг. 746), то при послѣдней, какъ мы уже доказали, жидкость претерпѣваетъ большее давленіе книзу нежели при горизонтальной поверхности. Понятно, что это усиленное давленіе должно заставлять жидкость понижаться въ трубкѣ противу остальнаго уровня до тѣхъ поръ, пока избытокъ давленія въ состояніи будетъ уровновѣшивать избытокъ внѣшней высоты.

Вліяніе формы мениска можетъ быть доказано самымъ простымъ образомъ съ помощію прибора, представленнаго на фиг. 747 и состоящаго изъ двухъ вертикальныхъ стеклянныхъ трубокъ A и B, соединенныхъ между собою. Одна изъ трубокъ имѣетъ узкій діаметръ, между тѣмъ какъ діаметръ другой трубки позволяетъ принимать поверхность находящейся въ немъ жидкости за горизонтальную. Въ A наливаютъ сперва немного воды, которая распространяется въ B, образуетъ тамъ вогнутый менискъ и поднимается выше нежели въ A. Это потому, что давленіе въ широкой трубкѣ сильнѣе противу давленія въ узкой трубкѣ, уменьшеннаго присутствіемъ мениска. Потомъ наливаютъ новое количество воды до тѣхъ поръ, чтобы она въ B достигла краевъ отверстія C. При этомъ замѣчаютъ, что въ трубку A можно лить воду до тѣхъ поръ, пока послѣдняя достигнетъ въ ней высоты поверхности C. Въ этомъ случаѣ столбъ B не представляетъ уже мениска и оканчивается плоскостію, проходящею чрезъ края C, что служитъ подтвержденіемъ равенства давленій въ столбахъ жидкости. Наконецъ, если станемъ прибавлять по каплѣ воды въ трубку A, то увидимъ, что жидкость въ C начнетъ образовать выпуклый менискъ, при чемъ поверхность жидкости въ A можетъ быть значительно выше нежели въ C. Послѣднее обстоятельство показываетъ превосходство давленія со стороны мениска. Въ томъ же самомъ убѣждаетъ насъ и слѣдующій опытъ.

Фиг. 747.

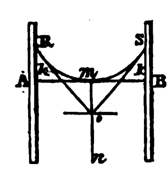


Если вынимать осторожно изъ жидкости волосную трубку, то высота находящейся въ ней жидкости увеличится противу того, какъ она была во время погруженія трубки въ смачивающую ее жидкость. Эта разность высотъ зависитъ отъ капли, образующейся на нижнемъ концѣ трубки во время поднятія послѣдней: выпуклость этой капли усиливаетъ давленіе внутрь жидкости и чрезъ то содѣйствуетъ поднятію верхней части ея. Вліяніе капли подтверждается слѣдующимъ. Если стѣнки очень толсты, то капля расплывается и поднятіе въ такомъ случаѣ бываетъ менѣе; при тонкихъ же стѣнкахъ, выпуклый менискъ снизу почти равенъ вогнутому въ верхней части трубки, высота же жидкости бываетъ тогда вдвое болѣе противу высоты, соотвѣтствующей трубкѣ, погруженной въ воду.

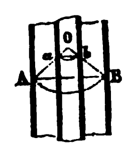
Величина дѣйствія мениска была опредѣлена Лапласомъ, который показалъ, что въ трубкахъ съ узкимъ діаметромъ, какъ для выпуклаго, такъ и для вогнутаго мениска, дѣйствіе это измѣряется выраженіемъ $T = C\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R'}\right)$, гдѣ R и R' суть радіусы наибольшей и наименьшей кривизны мениска въ точкѣ m (фиг. 744), а C есть постоянная величина, зависящая отъ свойствъ жидкости и трубки.

Когда основаніе цилиндра шарообразно, то менискъ можно разсматривать какъ шаровой сегментъ, и слѣдовательно тогда R будетъ равно R', откуда $T = \frac{2C}{R}$. Но должно замѣтить, что по свойству силъ, производящихъ явленіе волосности, уголъ ARO (фиг. 748), составляемый стѣнкою AC съ касательною къ мениску въ точкѣ R, долженъ оставаться одинаковъ, какова бы ни была форма трубки, и что слѣдовательно одна и таже жидкость, въ двухъ трубкахъ различныхъ діаметровъ ab и AB (фиг. 749), должна образовать совершенно подобные сферическіе мениски, радіусы которыхъ oA и OA поэтому будутъ относиться между собою какъ радіусы самыхъ трубокъ.

Фиг. 748.

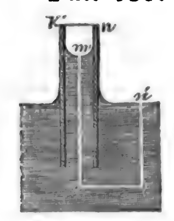


Фиг. 749.



Обратная пропорціональность между высотою поднятія и радіусомъ трубки можетъ быть выведена слѣдующимъ образомъ изъ формулы Лапласа. Опредѣлимъ для этого давленія, производимыя на точки i' и l' (фиг. 750) канала $m'i'l'n'$. Давленіе, производимое на точку l', составляется изъ давленія A, соотвѣтствующаго плоской возвышенности и изъ давленія, соотвѣтствующаго столбу жидкости $n'l'$; давленіе же, производимое на точку i', состоитъ изъ давленія $A - C\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R'}\right)$, соотвѣтствующаго вогнутой поверхности, и изъ давленія, соотвѣтствующаго столбу жидкости $m'i'$. Относя давленіе столбовъ жидкости $n'l'$ и $m'i'$ къ общему основанію, напр. gd, получимъ для перваго $gd \cdot n'l'$, а для втораго $gd \cdot m'i'$. Сравнивъ между собою полныя давленія, претерпѣваемыя точками i' и l', и замѣтивъ, что радіусы R и R' равны радіусу цилиндра, по причинѣ сферическаго вида мениска, получимъ $A - \frac{2C}{R} + gd \cdot m'i' = A + gd \cdot n'l'$; откуда $gd(m'i' - n'l') = \frac{2C}{R}$, и слѣдовательно поднятіе столба жидкости въ трубкѣ надъ остальною поверхностію, или $m'k = \frac{2C}{gd.R}$. Какъ величины C, g и d по-

Фиг. 750.

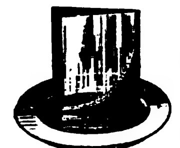


стоянны для одного и того же твердаго тѣла и для одной и той же жидкости, то поднятіе $m'h$ будетъ обратно пропорціонально радіусу R трубки. Точно тоже можно вывести и для выпуклаго мениска.

Справедливость этого закона, какъ мы уже говорили выше, подтверждается опытомъ.

Если въ жидкость погрузить двѣ вертикальныя, параллельныя между собою пластинки, то $R'=\infty$, откуда $\frac{1}{R'}=o$, и потому $T=\frac{C}{R}$, $m'h=\frac{C}{gd\,.\,R}$, а это показываетъ, что жидкость должна подняться между этими пластинками на высоту, равную половинѣ той, до которой поднялась бы таже жидкость въ трубкѣ, имѣющей діаметромъ разстояніе между пластинками, что подтверждается также и опытомъ.

Фиг. 751.



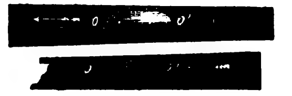
Если пластинки не параллельны между собою, а касаются другъ друга по направленію вертикальной прямой (фиг. 751), то жидкость образуетъ между ними кривую, которая по вычисленію составляетъ *гиперболу*.

§ 210. Законы волосности объясняютъ много явленій, изъ которыхъ мы ограничимся слѣдующими. Явленія, зависящія отъ волосности.

1) Если внести каплю жидкости между двумя пластинками, пересѣкающимися по направленію горизонтальной линіи и образующими между собою весьма острый уголъ, то капля будетъ стремиться къ вершинѣ угла въ томъ случаѣ, если она смачиваетъ стѣнки пластинки, не взирая даже на дѣйствіе тяжести, стремящейся двигать каплю по противоположному направленію (фиг. 752). —

Фиг. 752.

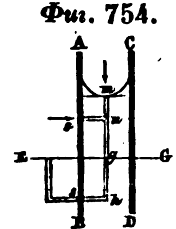
Фиг. 753.



Для объясненія этого явленія замѣтимъ, что радіусъ выпуклости въ точкѣ o болѣе, нежели въ точкѣ o', и поэтому сила $(A-\frac{C}{R})$, стремящаяся двигать жидкость отъ o къ o', будетъ менѣе силы $(A-\frac{C}{R'})$, толкающей жидкость отъ o' къ o. Если жидкость не смачиваетъ стѣнокъ, какъ на фиг. 753-й, то капля устремится къ уширенной сторонѣ пластинокъ, потому что въ этомъ случаѣ сила $(A+\frac{C}{R})$, стремящаяся двигать жидкость отъ o' къ o, болѣе силы $(A+\frac{C}{R'})$, толкающей жидкость отъ o къ o'.

2) Если вода поднимается между двумя свободно повѣшенными параллельными стеклянными пластинками AB и CD (фиг. 754), то послѣднія сближаются между собою точно такъ, какъ бы онѣ были подвержены дѣйствію притяженія. Чтобы дать себѣ отчетъ въ этомъ замѣчательномъ явленіи, обратимъ вниманіе на давленія, дѣйствующія на обѣ поверхности небольшой частицы s, одной изъ пластинокъ AB. Положимъ, что жидкость поднимается, не сближая пластинокъ, и разсмотримъ сперва одинъ изъ элементовъ погруженной въ жидкость пластинки. Означимъ чрезъ P—атмосферное давленіе, чрезъ π — давленіе, производимое поверхностію жидкости, и чрезъ gh — давленіе столба жидкости надъ этой точкой. Въ такомъ случаѣ очевидно, что давленіе, претерпѣваемое со внѣшней поверхности точкою s, будетъ $P+\pi+gh$; но жидкость, касающаяся этой поверхности, образуя небольшую площадь, должна производить давленіе π въ противоположную предъидущему сторону, такъ что давленіе на внѣшнюю поверхность точки s будетъ собственно $P+gh$. Внутри трубки давленіе будетъ $P+mh$, увеличенное дѣйствіемъ поверхности въ m и уменьшенное дѣйствіемъ поверхности въ s и дѣйствіемъ мениска, изъ которыхъ послѣднее измѣряется чрезъ mg. Поэтому мы будемъ

Фиг. 754.



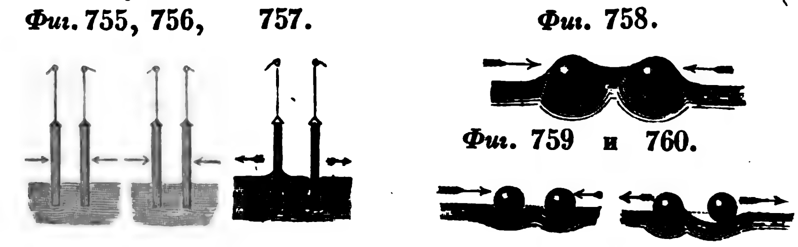
имѣть $P+mh+\pi-\pi-mg=P+gh$, т. е. тоже, что и для внѣшней поверхности точки s. Но если разсматриваемый элементъ пластинки находится выше поверхности EG, наприм. въ s', то давленіе на его внѣшнюю поверхность будетъ просто P, а на внутреннюю $P+\pi+mn-\pi-mg=P-ng$. Какъ это давленіе меньше противу внѣшняго, то пластинка должна будетъ подвигаться слѣва на право; по той же причинѣ пластинка CD будетъ двигаться справа на лѣво: слѣдовательно обѣ пластинки будутъ подвигаться другъ къ другу.

Подобнымъ же разсужденіемъ можно доказать, что тоже самое явленіе имѣетъ мѣсто, когда жидкость сжимается между двумя пластинками, или когда она образуетъ выпуклость. Отсюда мы можемъ заключить вообще, что пластинка, смоченная жидкостію, движется въ ту сторону, гдѣ жидкость наиболѣе возвышена; а пластинка, не смачивающаяся жидкостію, подвигается въ ту сторону, гдѣ послѣдняя наиболѣе сжимается.

Изъ этого слѣдуетъ, что если изъ двухъ плавающихъ тѣлъ одно смачивается, а другое нѣтъ, то оба тѣла должны удаляться другъ отъ друга, потому что между ними сжатіе и поднятіе жидкости будетъ менѣе, нежели снаружи.

Наглядное представленіе, выведенныхъ нами истинъ, изображено на фигурахъ 755, 756, 757, 758, 759 и 760, изъ которыхъ на 758-й показаны два пробочные шара, на 759-й два восковые, а на 760-й одинъ пробочный и одинъ восковой шаръ.

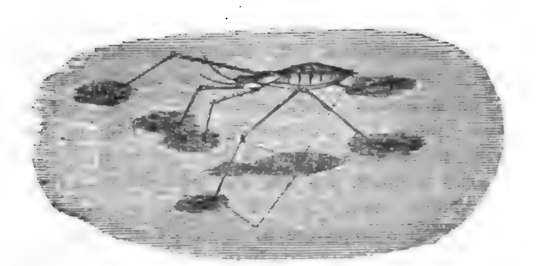
Фиг. 755, 756, 757. Фиг. 758.



Фиг. 759 и 760.

Когда мы говорили о сильнѣйшемъ сцѣпленіи частицъ на поверхности жидкости противу остальной массы ея (§ 203), то привели въ примѣръ силы этого сцѣпленія, что швейная игла можетъ лежать на поверхности воды, не погружаясь ко дну. Мы должны здѣсь замѣтить, что причина эта дѣйствуетъ на иглу вмѣстѣ съ другою причиною, зависящею отъ волосности. И въ самомъ дѣлѣ, опытъ этотъ удается преимущественно съ иглою уже бывшею въ употребленіи, слѣдовательно подернутой жирными веществами, покрывающими обыкновенно пальцы нашихъ рукъ. Вода, не будучи въ состояніи смочить иглы, покрытой жиромъ, сжимается вокругъ нея и образуетъ вогнутый менискъ, такъ что вѣсъ вытѣсненной такимъ образомъ воды подъ иглою, можетъ приблизительно равняться вѣсу послѣдней. Справедливость этого участія прилипанія подтверждается тѣмъ, что опытъ труднѣе удается съ иглой, которая тщательно очищена отъ жиру посредствомъ спирту. Тоже самое явленіе представляютъ намъ насѣкомыя (фиг. 761), скользящія или двигающіяся по поверхности воды.

Фиг. 761.



На основаніи волосности, ноздреватыя тѣла всасываютъ жидкости и газы съ большою силою и задерживаютъ ихъ внутри себя; поры этихъ тѣлъ представляютъ собою не что иное, какъ множество во-

лосныхъ трубочекъ неправильнаго вида. Бѣлый сахаръ, дерево, зола, губка и глина легко вбираютъ въ себя воду. Стѣны изъ скважистаго камня, стоящія на мокрой почвѣ, бываютъ постоянно сыры и куча самаго сухаго песку, насыпанная въ такомъ же мѣстѣ, проникается быстро водою до самой своей вершины. Для извлеченія жирныхъ пятенъ изъ одеждъ, обыкновенно прикладываютъ къ пятнамъ такъ называемую пропускную бумагу, на которую кладутъ горячій утюгъ. На поднятіи жидкостей въ волосныхъ трубкахъ основано употребленіе *свѣтиленъ*, доставляющихъ пламени свѣчей и лампъ постоянно свѣжее количество сгараемой жидкости. И въ самомъ дѣлѣ, свѣтильня представляетъ собою не что иное, какъ плотный свертокъ бумажныхъ нитей, которыя, подобно волоснымъ трубкамъ, заставляютъ жидкости подниматься кверху и намачивать чрезъ то всю свѣтильню.

Фиг. 762.

Если положить обыкновенную свѣтильню (фиг. 762) однимъ концомъ въ сосудъ съ водою, масломъ, или съ другою какою нибудь жидкостію, такъ чтобы противуположный ея конецъ, выходящій изъ сосуда наружу, находился ниже поверхности жидкости, то мы увидимъ, что послѣдняя, втягиваясь постепенно свѣтильнею, начнетъ наконецъ вытекать изъ сосуда. Тоже самое произойдетъ, если мы на поверхность воды въ сосудѣ положимъ, какъ показано на фиг. 763-й, бумагу, деревянную или даже металлическую пластинку. Жидкость начнетъ подниматься въ томъ мѣстѣ, гдѣ пластинка прикасается къ сосуду и будетъ выливаться наружу, частію прямо у того же мѣста, а частію по загибу пластинки.

Фиг. 763.



Фиг. 764.

Чтобы воспрепятствовать пролитію жидкости на полъ, при переливаніи ея изъ сосуда, весьма часто, въ особенности при химическихъ работахъ, приставляютъ къ сосуду пластинку въ положеніи, показанномъ на 764 фигурѣ.

Но кромѣ того, въ общежитіи есть много другихъ примѣненій капилярности. Такъ напримѣръ, разсохшіяся бочки смачиваютъ водою для того, чтобы сдѣлать ихъ снова годными къ употребленію. Рисунки передъ наклеиваніемъ намачиваютъ для того, чтобы они растягивались равномѣрно во всѣ стороны. Новое сукно, передъ употребленіемъ, всегда намачивается съ тою цѣлію, чтобы нити его получали бо́льшую крѣпость. Бочка, наполненная сухимъ горохомъ, разрывается въ томъ случаѣ, когда смочитъ послѣдній водою. Веревка, втянувъ въ себя воду, разбухаетъ и дѣлается короче. Она можетъ, въ этомъ случаѣ, поднимать даже тяжести, привязанныя къ ней.

Сила, съ которою сжимаются ссохшіяся веревки, была приспособлена при поднятіи большаго обелиска передъ Петровской церковью въ Римѣ.

Для откалыванія камней отъ скалъ продѣлываютъ въ извѣстныхъ мѣстахъ вырѣзы или щели и вколачиваютъ туда клинья изъ сухаго

дерева; клинья эти поливаютъ водою, которая проникаетъ въ поры дерева и растягиваетъ его съ такою силою, которая позволяетъ клиньямъ отдѣлять отъ скалъ большіе куски камней.

Прилипаніе жидкостей къ твердымъ тѣламъ примѣнено для поднятія воды, посредствомъ *веревочной машины*, придуманной Верою. Машина эта состоитъ изъ безконечной веревки, проходящей чрезъ два блока, лежащіе другъ надъ другомъ. Одинъ изъ блоковъ—нижній находится въ резервуарѣ съ водою, а верхній въ томъ мѣстѣ, куда требуется поднять воду. Посредствомъ рукоятки вращается верхній блокъ и этимъ вращеніемъ приводится въ движеніе веревка вокругъ обоихъ блоковъ. При быстромъ вращеніи приподнимается веревкою извѣстное количество воды, которая собирается наверху въ особенный пріемникъ.

Эндосмозъ. § 211. Къ явленіямъ капилярности относятъ также слѣдующія явленія. Вливая воду въ растворъ какого нибудь вещества, нетрудно замѣтить, что вода будетъ втягиваться послѣднимъ до тѣхъ поръ, пока не смѣшается совершенно съ его массою. Посмотримъ, что произойдетъ въ томъ случаѣ, когда обѣ жидкости не соприкасаются непосредственно между собою, а отдѣлены другъ отъ друга какимъ либо скважистымъ тѣломъ. Для этого опустимъ въ стаканъ съ водою *a* (фиг. 765) стеклянный сосудъ *b*, отнятое дно котораго завязано пузыремъ, а горло закрыто пробкою съ воткнутою трубкой *c*. Если налить въ сосудъ *b* растворъ купоросу, то спустя немного времени послѣдній поднимется въ трубкѣ *c*, что очевидно можетъ произойти отъ примѣси къ нему воды, которая пробралась чрезъ пузырь. При этомъ мы замѣтимъ, что и вода приметъ нѣсколько голубоватый цвѣтъ, который въ свою очередь можетъ образоваться не иначе какъ отъ примѣси къ ней купоросу. Тоже самое явленіе повторится если налить въ сосудъ *b* виннаго спирта. Если въ скважистый глиняный стаканъ налить сѣрной кислоты и поставить его въ сосудъ съ водою, то произойдетъ подобный предъидущему обмѣнъ жидкостей. Если же налить въ сосудъ *b* (фиг. 765) воды, а въ стаканъ *a* растворъ купоросу, то найдемъ, что жидкость въ первомъ сосудѣ будетъ постепенно опускаться, а во второмъ подниматься.

Фиг. 765.

Предложенные нами примѣры показываютъ, что употребленныя нами жидкости смѣшиваются между собою. Съ перваго взгляда можно приписать это явленіе прилипанію, но прилипаніе, какъ мы уже знаемъ, обнаруживается только при непосредственномъ прикосновеніи тѣлъ; въ настоящемъ же случаѣ смѣшавшіяся тѣла были отдѣлены другъ отъ друга перегородкой. Хотя животный пузырь и есть тѣло скважистое, но поры его такъ тонки, что не могутъ доставлять свободнаго прохода для жидкостей: мы знаемъ, что чрезъ пузырь нельзя процѣживать ни воды, ни другой жидкости. Показан-

ное же нами явленіе можетъ быть объясненно въ томъ случаѣ, если мы примемъ, что поры перегородки дѣйствуютъ какъ волосныя трубки и припомнимъ себѣ, что различныя жидкости обладаютъ различнымъ прилипаніемъ относительно одного и того же твердаго тѣла, слѣдовательно оказываютъ различное стремленіе къ прохожденію чрезъ волосныя трубки, образуемыя порами. Явленія эти, впервые замѣченныя въ 1811 году Парротомъ, были изслѣдованы впослѣдствіи Дютроше. Явленіе, обнаруживаемое поднятіемъ внутренней жидкости, Дютроше назвалъ *эндосмозомъ* (отъ греческихъ словъ ἔνδον, внутри, ὠθῶ, двигаться) въ противоположность опусканію этой жидкости названному имъ *экзосмозомъ* (ἔξ, наружи и ὠθῶ, двигаться). Но какъ оба явленія происходятъ отъ одного начала и различіе между ними обусловливается только тѣмъ, находится ли жидкость, обладающая большимъ прилипаніемъ къ порамъ перегородки, во внутреннемъ или во внѣшнемъ сосудѣ, то и означаютъ въ настоящее время оба явленія, обнаруживаемыя обмѣномъ жидкостей чрезъ перегородку, просто общимъ названіемъ *эндосмоза*.

Дютроше принималъ увеличеніе жидкости съ одной стороны за мѣру эндосмоза и предположилъ измѣрять величину этого приращенія объема посредствомъ прибора, представленнаго на фиг. 765 и названнаго имъ поэтому *эндосмометромъ*. Но Жоли показалъ, что этотъ приборъ не можетъ служить точною мѣрою величины обмѣна жидкостей, происходящаго чрезъ посредство перегородки, потому что не одна, а обѣ жидкости проникаютъ чрезъ послѣднюю. Если изслѣдовать, съ помощію ареометра, воду и спиртъ прежде нахожденія ихъ въ сосудахъ прибора Дютроше и послѣ опыта, то найдемъ, что удѣльный вѣсъ воды уменьшился, а удѣльный вѣсъ спирта увеличился: значитъ, произошло смѣшеніе обѣихъ жидкостей въ каждомъ сосудѣ. Поэтому увеличеніе объема спирта зависитъ отъ разности двухъ противоположныхъ теченій. Можетъ даже произойти значительный обмѣнъ жидкостей, безъ видимаго указанія эндосмометра и именно въ томъ случаѣ, когда обѣ жидкости одинаково пропускаются перегородкою.

Чтобы опредѣлить, въ какомъ отношеніи происходитъ движеніе жидкостей по противоположнымъ направленіямъ, Жоли употребляетъ слѣдующій способъ.

Одинъ конецъ стеклянной трубки завязывается свинымъ пузыремъ и въ трубку помѣщается тѣло, эндосмотическое отношеніе котораго къ водѣ требуется опредѣлить, наприм. винный спиртъ. По взвѣшиваніи этой трубки нижній конецъ ея опускается въ сосудъ съ водою; спустя извѣстное время около сутокъ, опредѣляется приращеніе вѣса трубки, происходящее вслѣдствіе эндосмоза, а внѣшняя вода замѣняется новою.

Это повторяютъ до тѣхъ поръ, пока трубка не будетъ уже обнаруживать приращенія вѣса; оказалось, что внутри трубки находилась чистая вода, винный же спиртъ весь перешелъ въ наружную воду сосуда, постоянно возобновляемую.

Этимъ способомъ можно опредѣлить, какое количество воды взошло въ трубку взамѣнъ убывшаго спирту.

Число, показывающее части вѣса воды (на 1 часть вѣса какого нибудь вещества), прошедшія чрезъ пузырь, Жоли называетъ *эндосмотическимъ эквивалентомъ*. Ученый этотъ опредѣлилъ эквиваленты между прочимъ для слѣдующихъ веществъ. Поваренная соль = 4,3, глауберова соль = 11,6, сѣрнокислое кали = 12, сѣрнокислая магнезія = 11,7 спиртъ = 4,2, сахаръ = 7,1.

Вообще онъ нашелъ при этомъ, что эндосмотическій эквивалентъ возрастаетъ съ температурою.

Количество же вещества, перешедшаго чрезъ пузырь къ водѣ, пропорціонально степени густоты раствора.

Въ позднѣйшее время нѣмецкій ученый, Лудвигъ, показалъ, что эндосмотическій эквивалентъ для одного и того же вещества не есть величина постоянная, но зависитъ отъ степени густоты жидкости.

Приведенный нами выше взглядъ на эндосмозъ основанъ на опытахъ Либиха, объясняющихъ весьма удовлетворительно ходъ эндосмотическихъ явленій.

Изъ опытовъ Либиха, касательно поглощенія жидкостей животными пузырями, слѣдуетъ: 100 частей по вѣсу сухаго бычачьяго пузыря въ теченіи 24 часовъ принимаютъ 268 частей по вѣсу воды, 133 ч. раствора соли (1,204 удѣл. вѣса), 38 ч. спирта (84 проц.), 17 ч. костянаго масла.

Поэтому способность животныхъ тканей къ поглощенію разныхъ жидкостей бываетъ различна. Пузырь, погруженный въ воду, разбухаетъ, въ спиртѣ остается твердымъ.

Съ помощію давленія удаляется постепенно изъ поръ ткани поглощенная жидкость. Для доказательства этого Либихъ употреблялъ приборъ, представленный па фиг. 766. Широкій конецъ трубки завязывается пузыремъ; въ этотъ конецъ до черты означенной чрезъ *a* наливается вода, а отвѣсная трубка наполняется ртутію; по достиженіи ртутію извѣстной высоты вся внѣшняя поверхность пузыря покрывается каплями воды. По опытамъ Либиха бычачій пузырь пропускаетъ воду при 12 дюймовомъ ртутномъ столбѣ, насыщенный растворъ поваренной соли требуетъ давленія отъ 18 до 20 дюймовъ, а костяное масло 34 дюймовъ; при 48 дюймахъ не показывалось замѣтнаго прохожденія виннаго спирта. Если пузырь, поглотившій извѣстную жидкость, привести въ прикосновеніе съ веществомъ, оказывающимъ притяженіе на частицы поглощенной жидкости, то часть послѣдней извлечется изъ пузыря.

Фиг. 766.

Если пузырь, пропитанный водою, посыпать поваренною солью, то во всѣхъ мѣстахъ, гдѣ соль приходитъ въ прикосновеніе съ водою, образуется насыщенный соляной растворъ; а какъ поглощательная способность пузыря для раствора соли слабѣе нежели для чистой воды, то часть жидкости удаляется въ видѣ каплей, причемъ пузырь сжимается. Если кусокъ напитаннаго водою пузыря положить въ спиртъ, то въ 24 часа онъ потеряетъ около половины своего вѣса, что сопровождается сжатіемъ и отвердѣніемъ пузыря.

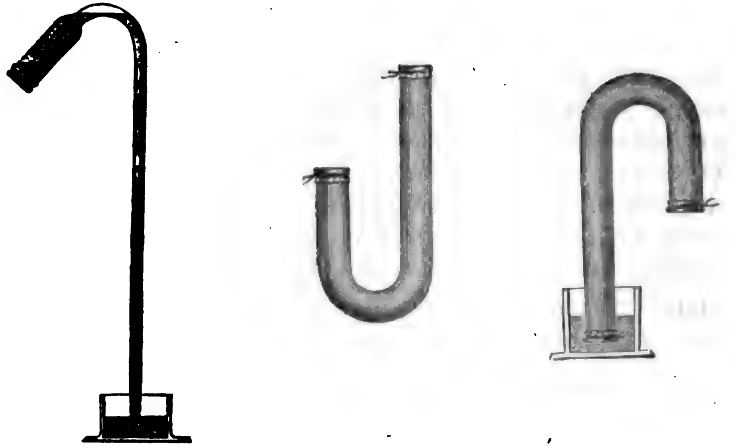
Эти данныя достаточно объясняютъ процессъ эндосмоза. Ткань, служащая для разъединенія жидкостей, принимаетъ въ свои поры каждую изъ нихъ вслѣдствіе частичнаго притяженія. Обѣ жидкости, поглощенныя пузыремъ, переходятъ по другую сторону его вслѣдствіе притяженія между частицами находящихся тамъ жидкостей и переходящими частицами. Это стремленіе час-

тицъ жидкостей ко взаимному смѣшенію явствуетъ уже изъ того, что явленіе происходитъ тѣмъ сильнѣе, чѣмъ значительнѣе стремленіе жидкостей ко взаимному смѣшиванію, и что восхожденіе жидкостей на одной изъ поверхностей совершенно прекращается, какъ только смѣшеніе сдѣлается одинаковымъ въ обоихъ сосудахъ.

§ 212. Съ помощію испаренія можетъ быть извлечена изъ пузыря часть поглощенной въ немъ воды точно также, какъ съ помощію соли и спирта. Поэтому, если кусокъ пузыря держать постоянно съ одной стороны въ прикосновеніи съ водою, а съ другой съ сухимъ воздухомъ, то вода, испаряющаяся съ одной стороны, будетъ вбираться въ пузырь съ противоположной. Вліяніе испаренія на эндосмозъ.

Если трубку, закрытую съ одного конца пузыремъ, наполнить совершенно водою и погрузить открытымъ концомъ въ сосудъ со ртутью (фиг. 767), то, по мѣрѣ испаренія воды изъ пузыря, ртуть будетъ подниматься въ трубкѣ; при бычачьемъ пузырѣ ртуть поднимается до 12 дюймовъ. Если трубка вполнѣ на-

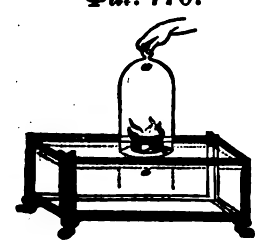
Фиг. 767. *Фиг.* 768. *Фиг.* 769.



полнена водою (фиг. 768) и закрыта съ обоихъ концовъ пузыремъ, и трубка не погружена въ жидкость, то взамѣнъ испарившейся воды не можетъ проникнуть въ трубку новаго количества жидкости; въ такомъ случаѣ внутри трубки образуется безвоздушное пространство, обозначающееся вогнутостію пузыря. Но если опустить одинъ конецъ трубки въ сосудъ съ солянымъ растворомъ (фиг. 769), а другой конецъ подвергнуть вліянію воздуха, то, при извѣстномъ испареніи воды внутри трубки, атмосферное давленіе вгоняетъ въ нее чрезъ поры пузыря извѣстное количество солянаго раствора. Явленія эндосмоза играютъ важную роль при распространеніи различныхъ соковъ въ тканяхъ растительнаго и животнаго организмовъ.

§ 213. Способность притягивать газы принадлежитъ всѣмъ тѣламъ, одареннымъ въ большей или меньшей степени скважностію. Если погасить раскаленный уголь подъ поверхностію ртути и потомъ дозволить ему подняться въ верхнюю часть колокола *a* (фиг. 770), наполненную углекислотою, сообщеніе которой съ атмосфернымъ воздухомъ прервано посредствомъ ртути, наполняющей какъ ванну, такъ и нижнія части колокола, то спустя нѣсколько мгновеній уголь поглотитъ въ себя столько углекислоты, что ртуть поднимется въ колоколъ до самаго верху, при- Прилипаніе газовъ къ твердымъ и жидкимъ тѣламъ.

Фиг. 770.



чемъ должно замѣтить, что объемъ углекислоты можетъ быть въ 20 разъ болѣе противу объема угля.

Принимая въ соображеніе свойства газообразныхъ тѣлъ, мы можемъ объяснить себѣ это явленіе тѣмъ, что упругость газовъ, проникающихъ въ поры твердаго тѣла, отъ притяженія частицъ послѣдняго, уменьшается, вслѣдствіе чего новое количество газа снаружи проникаетъ до тѣхъ поръ въ поры, пока, отъ образовавшагося тамъ сгущенія поглощеннаго газа, расширительная сила его не достигнетъ одинаковой степени съ упругостію наружнаго газа, окружающаго твердое тѣло. Способность всякаго тѣла къ поглощенію извѣстнаго газа можетъ быть выражена отношеніемъ между объемомъ поглощающаго тѣла и тѣмъ объемомъ окружающаго его газа, который поглощенъ тѣломъ. Значительно скважистыя тѣла, какъ напр. тѣла приведенныя въ порошкообразное состояніе, даже при небольшомъ объемѣ представляютъ для газа большую поверхность; такъ напр. поверхность всѣхъ поръ кубическаго дюйма древеснаго угля представляетъ уже поверхность болѣе 100 квадратныхъ футовъ. Поэтому такія тѣла обнаруживаютъ способность къ поглощенію значительнаго количества газа; такъ напр. кубическій дюймъ дубоваго угля вскорѣ послѣ раскаленія своего поглощаетъ болѣе 100 куб. дюймовъ аміака, до 35 кубич. дюймовъ углекислоты, $9^1/_4$ кубич. дюйм. кислорода, $7^1/_2$ куб. дюйм. азота и до $1^1/_3$ куб. дюйм. водорода.

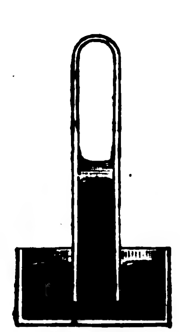
Смоченный дубовый уголь поглощаетъ вдвое меньшее количество газовъ и это доказываетъ, что его всасывающая способность зависитъ преимущественно отъ скважности. Еловый уголь всасываетъ вдвое меньше противу дубоваго. Уголь изъ пробочнаго дерева чрезвычайно пористый не производитъ вовсе поглощенія газовъ; тоже самое представляетъ плотный каменный уголь и графитъ; изъ этого должно заключить, что хотя скважность и составляетъ существенное условіе для поглощенія газовъ, но поры должны быть сжаты только до извѣстной степени.

Поглощательная способность пемзы, дерева, шерсти, шолка и льняныхъ нитей для различныхъ газовъ менѣе нежели у древеснаго угля; металлы въ раздробленномъ состояніи поглощаютъ извѣстные газы, даже иные болѣе противу древеснаго угля.

Замѣчательно, что при сгущеніи поглощеннаго атмосфернаго воздуха освобождается такое количество теплоты, которое въ состояніи воспламенить значительную массу; такъ напр. до 80 фунт. мелко истолченнаго сухаго древеснаго угля, насыпаннаго въ бочку, можетъ быть подвержено воспламененію. Уголь употребляютъ весьма часто для извлеченія изъ погребовъ углекислоты и другихъ газовъ и паровъ, обладающихъ зловоннымъ или удушливымъ запахомъ. Съ помощію угольнаго порошка предохраняютъ въ сырыхъ мѣстахъ желѣзныя вещи отъ ржавчины. Размельченная и сухая платина, извѣстная подъ названіемъ губчатой платины, нагрѣвается вслѣдствіе сильнаго сгущенія поглощенныхъ газовъ до такой степени, что раскаляется. Гнилое дерево поглощаетъ аміакъ почти одинаковымъ образомъ съ углемъ; тѣмъ же свойствомъ обладаютъ обожженная глина и желѣзная окись.

Жидкости обнаруживаютъ, подобно твердымъ тѣламъ, свойство поглощенія газовъ. Для обнаруженія этого свойства жидкостей, поступаютъ точно также, какъ и для обнаруженія поглощенія газовъ твердыми тѣлами, съ тою только разницею, что подъ колоколомъ (фиг. 771) вмѣсто углекислоты помѣщаютъ амміакъ, а вмѣсто угля воду. Заключающійся подъ колоколомъ амміакъ поглощается въ такой сильной степени водою, что вскорѣ весь газъ пропадаетъ и вся трубка наполняется жидкостію. Одинъ кубическій дюймъ перегнанной воды способенъ поглотить нѣсколько сотъ кубическихъ футовъ амміака, 1,6 куб. дюйм. углекислоты, 0,065 куб. дюйм. кислорода, 0,042 куб. дюйм. азота. Поэтому мы заключаемъ, что вода содержитъ въ своихъ порахъ сравнительно большее количество кислорода противу атмосфернаго воздуха, что весьма важно для животныхъ, обитающихъ въ водѣ. Одинъ и тотъ же газъ поглощается въ различномъ количествѣ разными жидкостями; такъ напр. 1 куб. дюймъ воды поглощаетъ 1,6 куб. дюйм. углекислоты, между тѣмъ какъ 1 куб. дюймъ виннаго спирта поглощаетъ до 2 куб. дюйм. того же газа.

Фиг. 771.



При поглощеніи газовъ жидкостями происходятъ тѣже явленія, какъ и при поглощеніи газовъ твердыми тѣлами. Измѣненія въ упругости газа, какъ поглощеннаго, такъ и свободнаго, т. е. газа, окружающаго поглощающее тѣло, должны находиться во взаимной зависимости между собою; на этомъ основаніи мы можемъ легко объяснить себѣ причину слѣдующихъ явленій:

1) Если плотность свободнаго газа усилится, напр. съ помощію давленія, то новое количество его поглощается порами тѣла и увеличиваетъ чрезъ то сгущеніе поглощеннаго газа; если помѣстить подъ колоколъ насоса какую нибудь жидкость и разрѣжать воздухъ, то часть поглощеннаго газа выходитъ изъ жидкости въ видѣ пузырьковъ. Поэтому воздухъ, находящійся въ водѣ, на высокихъ горахъ имѣетъ одинаковую степень разрѣженія съ внѣшнимъ воздухомъ. На высотѣ 5000 фут. рыбы не могутъ жить въ водѣ, не находя тамъ достаточнаго количества кислорода, необходимаго для ихъ жизни.

2) Если нагрѣвать тѣло, поглотившее извѣстное количество газа, то вслѣдствіе увеличенія упругости, часть послѣдняго удаляется изъ тѣла; вотъ почему при нагрѣваніи воды и ртути, происходитъ восхожденіе пузырьковъ воздуха. Съ помощію охлажденія тѣла уменьшается упругость поглощеннаго въ немъ газа и тѣло дѣлается способнымъ къ поглощенію свѣжаго количества газа снаружи.

Увеличеніе поглощенія чрезъ охлажденіе жидкостей простирается вообще до самаго перехода ихъ въ твердое состояніе. Вотъ почему во время самаго перехода воды въ ледъ, мы замѣчаемъ быстрое выхожденіе изъ нея большей части воздуха и только часть его, не-

успѣвшая удалиться, остается во льду въ видѣ пузырьковъ. Серебро, въ расплавленномъ состояніи, поглощаетъ значительное количество кислорода, который при отвердѣніи серебра быстро удаляется.

Шампанское вино и пиво, при броженіи своемъ въ крѣпко закупоренныхъ бутылкахъ, отдѣляютъ углекислоту, поглощаемую порами жидкости и собирающуюся непосредственно подъ пробкою; сгущенный газъ этотъ служитъ причиною сильнаго выбрасыванія пробки, освобожденной отъ удерживающей ее проволоки. Сгущенная углекислота выходитъ наружу, сопровождаясь восхожденіемъ пѣны, поднятію которой благопріятствуетъ теплота, а потому, чтобы воспрепятствовать появленію пѣны, держатъ обыкновенно бутылки съ этими напитками въ сосудахъ, наполненныхъ льдомъ.

Если смоченный водою, завязанный пузырь (заключающій незначительное количество воздуха), внести подъ колоколъ, наполненный углекислотою, то внѣшній слой воды на пузырѣ поглощаетъ углекислый газъ, который проходитъ до внутренней поверхности пузыря; не встрѣчая тамъ углекислоты, газъ этотъ распространяется внутри пузыря, такъ что послѣдній мало по малу наполняется весь углекислотою. Если послѣ того повѣсить пузырь въ пространство, заключающее атмосферный воздухъ, то углекислота удаляется прочь, распространяясь въ атмосферѣ. Мы говоримъ здѣсь объ этихъ явленіяхъ потому, что подобныя явленія совершаются въ животномъ организмѣ.

Частичное притяженіе между твердыми тѣлами и газами объясняетъ рядъ любопытныхъ явленій, открытыхъ *Мозеромъ*.

Если чертить деревянной палочкой на стеклянной доскѣ и потомъ подышать надъ послѣднею, то все начерченное обозначается отчетливо на доскѣ. Тоже самое представляютъ полированныя доски изъ металла, дерева, смолы и т. п. предметовъ.

Если положить на покрытую іодомъ серебряную пластинку гравированный на металлѣ рисунокъ, или выгравированную на агатѣ дощечку, и потомъ подвергнуть серебряную пластинку ртутнымъ парамъ, то появляются на ней отчетливыя изображенія всѣхъ прикладываемыхъ рисунковъ.

Для этихъ опытовъ нѣтъ даже надобности употреблять іодированную серебряную пластинку; если положить штемпель на какую нибудь металлическую доску и оставить на ней въ теченіи извѣстнаго времени, потомъ дышать надъ доскою, или лучше подвергнуть ее дѣйствію паровъ ртути, то появляется изображеніе штемпеля. Пары вскорѣ осаждаются преимущественно на тѣхъ мѣстахъ, которыя были подвержены прикосновенію и потомъ уже на прочихъ мѣстахъ. Для опыта не требуется даже непосредственнаго прикосновенія: достаточно держать штемпель надъ доскою въ извѣстномъ (впрочемъ незначительномъ) удаленіи.

Явленія эти конечно имѣютъ много сходства съ дѣйствіями свѣта при дагеротипныхъ изображеніяхъ, и Мозеръ поэтому старался объяснить ихъ тѣмъ предположеніемъ, что каждое тѣло въ извѣстной степени обладаетъ способностію издавать свѣтъ и что отъ каждаго тѣла исходятъ лучи, дѣйствующіе на другія тѣла точно также, какъ и солнечные лучи, не взирая на то, что первые не производятъ впечатлѣній на нервной оболочкѣ глаза. Вайделе же объясняетъ эти явленія слѣдующимъ образомъ.

Вообще всякое тѣло покрыто слоемъ сгущеннаго газа; этотъ поглощаемый тѣломъ газъ образуетъ, такъ сказать, оболочку вокругъ тѣла. Если нагрѣвать тѣло, то оно освобождается отъ поглощаемаго имъ газа; отполированная и вычищенная порошкомъ серебрянная пластинка получаетъ большую степень чистоты.

Точно также понятно, что тѣло только что вычищенное въ состояніи сгущать на своей поверхности газы болѣе, нежели тѣло, уже покрытое слоемъ

газа. При наложеніи штемпеля на доску, происходитъ въ мѣстахъ прикосновенія обмѣнъ газообразныхъ оболочекъ и поэтому мѣста, гдѣ лежалъ штемпель, будутъ покрыты плотнымъ слоемъ газовъ, болѣе или менѣе противу остальныхъ мѣстъ доски. Это объясненіе Вайделе подтверждается многими опытами, изъ которыхъ мы ограничимся главнѣйшими.

На половину серебрянной дощечки, вычищенную надлежащимъ образомъ, насыпается сухой угольный порошокъ; другая же половина покрывается порошкомъ, чрезъ который проведена была струя углекислоты. Спустя 1 или 2 минуты весь порошокъ стирается съ доски чистой ватой. Если послѣ того дышать надъ доскою, то водяные пары, сгущаясь на доскѣ, даютъ два различные оттѣнка—буроватый и голубой: первый на половинѣ, которая была подъ порошкомъ, заключавшимъ углекислоту, а второй на остальной половинѣ доски. Ртутные же пары осаждаются на послѣдней половинѣ. Какъ на этой части доски поверхность представляетъ наиболѣе чистоты, то водяные и ртутные пары сгущаются на ней сильнѣе, нежели на той части пластинки, которая покрыта слоемъ углекислоты. Если, на только что приготовленную чистую дощечку, положить стальной штемпель, лежавшій въ продолженіи извѣстнаго времени въ угольномъ порошкѣ, насыщенномъ углекислотою, такъ чтобы на штемпелѣ могъ образоваться сгущенный слой углекислоты, и потомъ чрезъ 10 минутъ отнять штемпель отъ дощечки, то мы получимъ изображеніе штемпеля послѣ дѣйствія на дощечку паровъ ртути, которые сгущаются преимущественно на тѣхъ мѣстахъ, гдѣ не происходило непосредственнаго прикосновенія между дощечкою и штемпелемъ, потому что здѣсь дощечка не могла такъ скоро покрыться атмосферою газа, какъ на тѣхъ мѣстахъ, гдѣ она была въ прикосновеніи съ сгущенною атмосферою штемпеля. Если же дощечка предварительно покрыта слоемъ и потомъ положенъ на нее тщательно вычищенный штемпель, то по отнятіи послѣдняго пары ртути сгустятся на оборотъ на тѣхъ мѣстахъ, гдѣ происходило прикосновеніе штемпеля съ дощечкою. Если же какъ штемпель, такъ и дощечка вычищены, или, если какъ тотъ, такъ и другой, покрыты слоемъ углекислоты, то не происходитъ вовсе изображенія штемпеля.

Впослѣдствіи Мозеръ нашелъ, что если на полированную дощечку положить листъ бумаги, въ которомъ вырѣзаны различныя изображенія, потомъ дышать надъ дощечкой и дать водѣ испариться, то по снятіи бумаги и по вторичномъ дышаніи надъ дощечкой, появляется изображеніе вырѣзанной фигуры, при чемъ водяные пары сгущаются здѣсь иначе, нежели на мѣстахъ, которыя прежде не были подвержены дѣйствію водяныхъ паровъ. Если водить водяной каплей, висящей на стеклянной палочкѣ, по полированной пластинкѣ, то послѣ дышанія надъ пластинкой, появляется изображеніе начерченное каплей. — Мозеръ объясняетъ эти явленія допущеніемъ существованія, такъ называемаго *скрытаго свѣта*, и полагаетъ, что скрытіе свѣта точно такъ возможно, какъ и скрытіе теплоты. Но и послѣднія явленія были объяснены Вайделе самымъ простымъ образомъ. Если водяную каплю, висящую на стеклянной пластинкѣ, водить по доскѣ, покрытой газовой атмосферой, то она поглощаетъ часть газа и поэтому путь капли долженъ обозначиться послѣ дышанія надъ доскою. Если на дурно вычищенную доску положить листъ бумаги, въ которомъ вырѣзаны различныя изображенія, послѣ того дышать надъ доскою, снять листъ и дать испариться водѣ, то испарившаяся вода большею частію уноситъ съ собою находившуюся подъ нею газовую оболочку, которая остается на мѣстахъ, не бывшихъ подверженными дѣйствію водяныхъ паровъ. Понятно, что при вторичномъ дышаніи, водяной паръ долженъ сильнѣе сгущаться на послѣднихъ мѣстахъ. Мнѣніе это подтверждается тѣмъ, что фигуры никогда не появляются отчетливо на тщательно вычищенныхъ пластинкахъ и что лучшія изображенія происходятъ въ томъ случаѣ, когда доска была предварительно подвержена дѣйствію углекислоты или аммiака.

Смѣшеніе разнородныхъ газовъ.

§ 214. Фиг. 772. Если привести въ прикосновеніе два различные газа, несоединяющіеся между собою химически, то они не располагаются, подобно жидкостямъ, согласно удѣльному своему вѣсу, но въ скоромъ времени *проникаютъ* другъ друга взаимно и образуютъ совершенно однородную смѣсь. Явленіе это подтверждается слѣдующимъ опытомъ. Верхній сосудъ (фиг. 772), снабженный краномъ *b*, наполняютъ водородомъ, а нижній сосудъ *e*, съ краномъ *c*, — углекислотою. Если отворить краны *b* и *c*, то оба сосуда могутъ сообщаться между собою чрезъ посредство небольшаго канала, продѣланнаго въ металлической части *d*, посредствомъ которой соединяются оба сосуда. По открытіи крановъ, находящіеся въ сосудахъ газы, могутъ приходить въ прикосновеніе между собою, и спустя извѣстное время замѣчаютъ, что оба газа дѣйствительно смѣшиваются другъ съ другомъ. Тяжелѣйшій газъ (углекислота) поднимается, а легчайшій (водородъ) опускается. При чемъ каждый газъ распространяется во всемъ пространствѣ, заключающемся въ обоихъ шарахъ, точно такъ, какъ бы не существовало другаго газа и какъ бы все занимаемое имъ пространство было безвоздушное. Тоже самое явленіе повторяется нѣсколькими газами.

На этомъ основаніи мы можемъ сказать, что смѣшеніе разнообразныхъ газовъ происходитъ точно такъ, какъ бы они были совершенно однородны; ни въ ихъ расширительной силѣ, ни въ объемѣ не происходитъ никакого измѣненія, какъ бы этого слѣдовало ожидать на основаніи маріотова закона. Обстоятельство это подтверждаетъ, что частицы газовъ находятся между собою въ такомъ отдаленіи, при которомъ онѣ не въ состояніи обнаруживать достаточнаго взаимнаго притяженія другъ на друга и что отталкивающія силы частицъ дѣйствуютъ независимо отъ матеріяльнаго свойства послѣднихъ. Если же частицы смѣшанныхъ газовъ находятся въ такомъ отдаленіи между собою, то взаимное отдаленіе частицъ однаго и того же газа должно быть еще болѣе. Вслѣдствіе того два разнородные газа, приходящіе въ прикосновеніе другъ съ другомъ, не въ состояніи оказывать на всѣхъ точкахъ своего прикосновенія одинаковаго взаимнаго давленія, даже и въ томъ случаѣ, если бы упругія силы, обладаемыя ими, были равны. Поэтому частицы одного газа проникаютъ въ промежутки между частицами другаго и равновѣсіе можетъ сдѣлаться устойчивымъ только въ томъ случаѣ, когда оба газа дадутъ однородную смѣсь. Все вліяніе газа, заключающагося въ извѣстномъ пространствѣ, на газъ, распространяющійся въ послѣднемъ, заключается единственно въ замедленіи этого распространенія; но это замедленіе бываетъ тѣмъ менѣе, чѣмъ болѣе различія въ плотностяхъ обоихъ газовъ.

Изъ закона, по которому происходитъ смѣшеніе газообразныхъ тѣлъ, слѣдуетъ, что каждый изъ газовъ, входящій въ составъ атмосфернаго воздуха,

составляетъ собственную атмосферу вокругъ земнаго шара, точно такъ какъ бы другихъ газовъ вовсе несуществовало. Этимъ объясняется равенство отношеній въ частяхъ, составляющихъ воздухъ, на всѣхъ мѣстахъ земнаго шара. Если отъ какой нибудь причины и произошло бы въ извѣстномъ мѣстѣ уменьшеніе кислорода, то взамѣнъ его прибыло бы изъ окрестныхъ мѣстъ свѣжее количество этого газа: только этимъ условіемъ можетъ постоянно поддерживаться на одномъ и томъ же мѣстѣ одинъ изъ существенныхъ матеріядовъ для жизни и горѣнія. Кислородъ, отдѣляемый растеніями, и углекислота, выдѣляющаяся при дыханіи, горѣніи и процессахъ броженія, равно какъ амміакъ, образующійся при гніеніи животныхъ тѣлъ, и водяные пары, происходящіе вслѣдствіе испаренія водъ, распространяются отъ мѣстъ своего образованія во всѣ стороны въ атмосферѣ и служатъ такимъ образомъ, на всѣхъ мѣстахъ земли, для поддержанія жизни животныхъ и растеній. Основываясь на этомъ свойствѣ, ни одинъ газъ, вредный для жизни, не можетъ накопляться въ незапертомъ пространствѣ; только въ мѣстахъ, гдѣ газъ не можетъ переходить въ атмосферу съ такою быстротою, съ которою онъ образуется, возможно значительное накопленіе его. Такъ напр. въ пещерахъ и погребахъ встрѣчаютъ иногда такое количество углекислаго газа, которое дѣлаетъ эти мѣста опасными для существованія животныхъ.

§ 215. Если два разнородные газа отдѣлены другъ отъ друга скважистой перегородкой, то происходитъ взаимный обмѣнъ газовъ чрезъ перегородку; при чемъ замѣчаютъ тоже явленіе, которое извѣстно для жидкостей подъ названіемъ эндосмоза. Газъ, находящійся по одну сторону перегородки проходитъ скорѣе чрезъ перегородку, для распространенія своего по другую сторону послѣдней, противу другаго газа, находящагося на противоположной части перегородки. Распространеніе газовъ.

Грегемъ, изслѣдовавшій ближе это явленіе, назвалъ его *распространеніемъ* газовъ (diffusion-diffundere).

Явленіе это можетъ быть наблюдаемо слѣдующимъ простымъ образомъ: берутъ стеклянную трубку отъ 1 до $1\frac{1}{2}$ дюйма въ діаметрѣ, закупориваютъ ее гипсовою пробкою, пропускающею легко газы до тѣхъ поръ, пока она не смочена; трубка эта наполняется надъ ртутію водороднымъ газомъ. Спустя немного времени, водородъ улетаетъ чрезъ гипсовую пробку, а въ трубку проникаетъ атмосферный воздухъ, причемъ количество удалившагося водорода значительнѣе противу воздуха проникнувшаго въ трубку, потому что объемъ газовъ въ трубкѣ постоянно уменьшается, ртуть постепенно поднимается въ трубку и уже чрезъ нѣсколько минутъ расположится въ трубкѣ двумя дюймами выше противу остальнаго уровня ртути въ ваннѣ, въ которую погружена трубка.

Для опредѣленія закона распространенія газовъ должно трубку погружать постоянно глубже въ жидкость, потому что только въ этомъ случаѣ уровень ртути въ трубкѣ можетъ находиться на одной высотѣ съ наружнымъ; безъ этой предосторожности въ трубку проникаетъ болѣе воздуха противу должнаго количества.

Изъ опытовъ Грегема слѣдуетъ, что скорости распространенія газовъ чрезъ перегородку находятся въ обратномъ отношеніи квадратныхъ корней изъ ихъ плотностей. Если наприм. входитъ въ трубку 1 объемъ воздуха, то удаляется чрезъ пробку 3,83 объема водорода;

водородъ въ 14,5 разъ легче воздуха, 3,83 составляетъ квадратный корень отъ 14,5.

Между эндосмозомъ и распространеніемъ газовъ есть существенная разница. Различіе противуположныхъ теченій при эндосмозѣ зависитъ отъ различнаго частичнаго притяженія, оказываемаго стѣнкою на жидкости; между тѣмъ какъ при распространеніи газовъ вещество раздѣляющей ихъ стѣнки не оказываетъ вліянія; взаимное отношеніе теченій зависитъ отъ отношенія плотностей газовъ.

Раство-реніе. § 216. Нѣсколько выше мы говорили, что должно разумѣть подъ *растворенiемъ;* теперь займемся ближайшимъ разсмотрѣніемъ этого явленія.

Растворенію содѣйствуютъ слѣдующія обстоятельства:

a) Увеличеніе точекъ прикосновенія твердаго тѣла съ растворяющимъ веществомъ, слѣдовательно приведеніе твердаго тѣла въ мельчайшее состояніе, потому что силы, производящія раствореніе, дѣйствуютъ только въ томъ случаѣ, когда тѣла взаимно прикасаются; такъ наприм. мелко истолченный сахаръ растворяется скорѣе противу сахара въ кускахъ.

b) Сотрясеніе помогаетъ растворенію, приводя новое число точекъ твердаго тѣла въ прикосновеніе съ растворяющимъ веществомъ и удаляя вмѣстѣ съ тѣмъ растворенныя части.

c) Уменьшеніе силы сцѣпленія твердаго тѣла посредствомъ увеличенія температуры также благопріятствуетъ растворенію, потому что сцѣпленіе противодѣйствуетъ послѣднему.

Относительно растворимости веществъ опытъ показываетъ:

1) Что жидкость не въ состояніи растворять всякаго произвольнаго тѣла; такъ напр. вода можетъ растворять поваренную соль, квасцы, селитру, но не растворяетъ сѣры и угля.

2) Извѣстное количество растворяющаго вещества хотя и можетъ растворять произвольное количество растворяемаго тѣла, но только до извѣстнаго предѣла, за которымъ, при тѣхъ же обстоятельствахъ, не можетъ уже происходить дальнѣйшаго растворенія. Если растворяющее вещество заключаетъ возможно большее количество твердаго тѣла, которое въ состояніи быть растворимо, то говорятъ, что жидкость *насыщена* растворѳннымъ веществомъ или что она достигла *степени насыщенія.*

Такъ напр. 100 ч. воды растворяютъ не болѣе 37 ч. поваренной соли; все излишнее количество послѣдней остается въ водѣ нерастворимымъ; всякое же меньшее число частей соли противу 37 можетъ быть растворимо въ 100 частяхъ воды.

3) Сила притяженія, съ которою дѣйствуетъ растворяющее вещество на твердое тѣло, стремясь привести его въ раздробленное состояніе, уменьшается по мѣрѣ постепеннаго растворенія тѣла; поэтому послѣднія частицы, которыя бы могли быть растворены, растворяются весьма медленно. По наступленіи предѣла насыщенія, жид-

кость не въ состояніи побѣждать сцѣпленія остающагося твердаго тѣла, которое поэтому остается нерастворимымъ.

4) Наибольшее количество твердаго тѣла, могущее быть растворимо въ извѣстномъ количествѣ растворяющаго вещества, зависитъ какъ отъ собственнаго свойства, такъ и отъ свойства растворяющаго вещества, а во многихъ случаяхъ и отъ температуры.

Такъ напр. селитра болѣе растворима въ теплой водѣ, нежели въ холодной: во 100 частяхъ воды при 0° Р растворяется только 13⅓ частей ея, между тѣмъ какъ при 80° Р. растворяется 236 частей. Глауберовой соли (сѣрно-кислый натръ) растворяется во 100 частяхъ воды при 0° Р. только 5 частей и 52 части при 34° Р.; при высшей температурѣ растворимость глауберовой соли снова уменьшается. Напротивъ того 1 часть извести для совершеннаго растворенія своего въ 450 частяхъ воды требуетъ 16° Р. и 1280 частей при 80° Р.; поэтому известь въ холодной водѣ болѣе растворима, нежели въ теплой. Поваренная соль почти одинаково растворима въ водѣ при каждой температурѣ.

5) Жидкость, насыщенная извѣстнымъ веществомъ, въ состояніи растворять извѣстное количество другаго вещества, въ иныхъ случахъ даже болѣе, нежели въ чистомъ состояніи. Такъ напр. поваренная соль въ водѣ, заключающей гипсъ, растворяется въ большемъ количествѣ, нежели въ чистой водѣ. Растворъ поваренной соли принимаетъ болѣе селитры, нежели чистая вода.

Жидкости смѣшиваются взаимно въ произвольномъ количествѣ и степень насыщенія для жидкостей замѣчается только въ весьма немногихъ случаяхъ.

Сила химическаго притяженія (сродство).

(Химія).

§ 217. Въ природѣ встрѣчается рядъ многочисленныхъ явленій, которыя не могутъ уже быть объяснены непосредственнымъ притяженіемъ и расположеніемъ другъ возлѣ друга частицъ разнородныхъ тѣлъ, какъ это мы допускали при прилипаніи. Примѣромъ этого ряда явленій, при которыхъ два разнородныя тѣла превращаются въ совершенно однородное цѣлое, не представляющее ни одного изъ свойствъ тѣлъ его образовавшихъ, можетъ служить слѣдующій опытъ: если нагрѣвать смѣсь изъ сѣры и ртути, то получается однородное цѣлое, извѣстное подъ названіемъ киновари, въ которой конечно нельзя узнать ни свойствъ ртути, ни свойствъ сѣры. Подобное превращеніе разнородныхъ тѣлъ въ однородное цѣлое можетъ быть объяснено принятіемъ особой силы, которую условились называть химическимъ притяженіемъ или *сродствомъ*. Съ понятіемъ о сродствѣ мы привыкли соединять въ общежитіи понятіе о подобіи; а названіе сродства, какъ видно изъ приведеннаго нами опыта, не соотвѣт- Сила сродства.



ствуетъ самому явленію, потому что во взятомъ нами примѣрѣ, тѣла, дающія однородное цѣлое, разнородны между собою. Слово сродство употребляется въ этомъ случаѣ на слѣдующемъ основаніи: нѣкогда были того мнѣнія, что тѣла, дающія однородное цѣлое, сходны между собою въ извѣстныхъ отношеніяхъ и поэтому допускали, что между ними находится извѣстная родственность. Теперь же посредствомъ самыхъ опредѣлительныхъ изысканій найдено, что тѣла подчиняющіяся дѣйствію силы, производящей однородное цѣлое, должны обладать противоположными свойствами. Тѣмъ неменѣе старинное названіе *сродство*, не смотря на противорѣчіе съ самимъ дѣломъ, сохранилось до сихъ поръ для означенія силы, производящей описанное нами выше явленіе.

Не должно впрочемъ полагать, чтобы дѣйствіе этой силы ограничивалось однимъ образованіемъ однороднаго цѣлаго изъ разнородныхъ тѣлъ; во многихъ случахъ посредство ея служитъ для отдѣленія изъ однороднаго цѣлаго разнородныхъ частей. Такъ напр. если приведенную выше киноварь, состоящую изъ сѣры и ртути, привести въ прикосновеніе съ желѣзомъ и нагрѣвать смѣсь, то мы увидимъ, что ртуть появится снова съ ея первоначальными свойствами; она испаряется и посредствомъ охлажденія можетъ быть получена въ обыкновенномъ своемъ состояніи. Взамѣнъ того желѣзо соединяется съ сѣрою и даетъ новое тѣло, извѣстное подъ названіемъ сѣрнистаго желѣза. Явленія эти, при которыхъ происходитъ выдѣленіе одной изъ разнородныхъ частей, входившихъ въ составъ однороднаго цѣлаго, происходятъ также вслѣдствіе участія силы сродства.

Явленія, производимыя силою сродства, по многочисленности и разнообразію своему, вошли въ составъ отдѣльной науки *Химіи*, изъ которой мы ограничимся здѣсь только выборомъ и разсмотрѣніемъ главнѣйшихъ началъ.

Ученымъ, съ помощію различныхъ средствъ, удалось разложить химическія соединенія на ихъ составныя части, т. е. на части совершенно отличныя какъ другъ отъ друга, такъ и отъ разлагаемаго тѣла; но при подобномъ разложеніи встрѣчаются такія тѣла, которыя противятся всѣмъ доселѣ извѣстнымъ способамъ разложенія; такія тѣла принимаютъ за *простыя* или *элементы*, въ отличіе отъ тѣлъ *сложныхъ*, состоящихъ изъ разнородныхъ частей, на которыя онѣ могутъ быть разложены. Число доселѣ извѣстныхъ простыхъ тѣлъ простирается до 62-хъ; названія ихъ слѣдующія: * кислородъ (O=100,0), * водородъ (H=12,5), * азотъ (N или Az=175,0), * углеродъ (C=75,0), * сѣра (S=200,0), * селенъ (Se=491,0), * теллуръ (Te=806,5), * хлоръ (Cl=443,7), * бромъ (Br=978,8), іодъ (Io=1578,2), * фторъ (Fl=240,0), * фосфоръ (Ph=400,0), * мышьякъ (As=937,5), * боръ (Bo=136,2), * кремній (Si=266,7), * калій (K=490,0), * натрій (Na=287,2), * литій (Li=80,0), * барій (Ba=856,3), * стронцій (Sr=548,0), * кальцій (Ca=250,0), * магній (Mg=150,0), глицій (Gl=87,5), * глиній (Al=171,2), цирконій (Zr=420,0), торій

(Th=743,9), итрій (Yt=402,3), церій (Ce=590,8), лантанъ (La=588,0), дидимъ (Di=620,0), эрбій (Er), тербій (Tr), * марганецъ (Mn=345,0), * хромъ (Cr=328,0), вольфрамъ или волчецъ (W или Tg=1150,0), молибденъ (Mo=589,0), ванадій (Vd=856,0), * желѣзо (Fe=350,0), * кобальтъ (Co=369,0), * никкель (Ni=370,0), * цинкъ (Zn=406,6), * кадмій (Cd=696,8), * мѣдь (Cu=396,6), * свинецъ (Pb=1295,0), * висмутъ (Bi=2660,0), * ртуть (Hg=1250,0), * олово (Sn=735,3), титанъ (Ti=314,8), танталъ или коломбій (Ta), ніобій (Nb), ильменій (Il), пелопій (Pp), * сюрьма (Sb=1612,5), уранъ (U=750,0), * серебро (Ag=1350,0), * золото (Au=2455,0), * платина (Pt=1232,0), палладій (Pd=665,2), родій (Rh=653,0), иридій (Ir=1233,2), рутеній (Ru=646,0), осмій (Os=1244,2).

Между этими тѣлами есть много такихъ, которыя рѣдко встрѣчаются въ природѣ, еще недостаточно изслѣдованы и не имѣютъ никакого приложенія въ техникѣ; этихъ тѣлъ мы не отмѣтили звѣздочками.

§ 218. *Для ближайшаго изслѣдованія силы сродства*, обратимъ вниманіе на отношеніе между составными тѣлами, образующими однородное цѣлое, называемое *химическимъ* соединеніемъ. Эквиваленты (паи).

Если сѣра соединяется со ртутью для образованія киновари, то при этомъ вѣсъ полученнаго соединенія бываетъ равенъ суммѣ вѣсовъ составляющихъ его частей. Но не должно полагать, чтобы новое тѣло могло произойти отъ соединенія произвольнаго количества сѣры со ртутью. Опытъ показываетъ, что только опредѣленное отношеніе вѣсовыхъ частей составныхъ тѣлъ въ состояніи образовать химическое соединеніе. Такъ напр. 100 частей вѣса ртути требуютъ 16 частей вѣса сѣры; всякій избытокъ одной изъ составныхъ частей, противу указаннаго вѣса, не принимаетъ уже участія въ соединеніи. Подобное явленіе замѣчено при всѣхъ химическихъ соединеніяхъ: только опредѣленный вѣсъ извѣстнаго тѣла можетъ соединяться съ опредѣленнымъ же вѣсомъ другаго тѣла, для образованія химическаго соединенія.

Если взять газообразное тѣло кислородъ, соединяющійся, какъ показываетъ опытъ, со всѣми прочими тѣлами, за исключеніемъ фтора, то найдемъ, что 100 частей кислорода соединяются

съ	200	частями	по вѣсу	сѣры,
	1350,0	—	—	серебра,
	12,5	—	—	водорода,
	443,7	—	—	хлора,
	490,0	—	—	калія,
	75,0	—	—	углерода,
	175,0	—	—	азота.

Числа эти всегда остаются постоянными для 100 ч. кислорода и не могутъ быть измѣнены никакими посторонними условіями.

Не должно впрочемъ думать, чтобы *именно* 100 ч. кислорода и могли соединяться съ 200 ч. сѣры: это значитъ только, что всѣ со-



единенія кислорода съ сѣрою могутъ происходить въ томъ случаѣ, когда вѣса составныхъ частей относятся между собою какъ 100 къ 200. На этомъ основаніи изъ приведенныхъ выше чиселъ, опредѣленныхъ опытомъ и для другихъ тѣлъ, мы можемъ опредѣлить, какое количество извѣстнаго тѣла можетъ соединяться съ извѣстнымъ количествомъ другаго. Такъ напр. если мы знаемъ, что 100 ч. вѣса кислорода требуютъ 200 ч. вѣса сѣры, то очевидно, что для 150 ч. кислорода потребуется 300 ч. сѣры (100 : 200 = 150 : 300). Слѣдовательно приведенныя нами числа имѣютъ только относительное значеніе, и даютъ намъ возможность для каждаго произвольнаго вѣса одного элемента опредѣлить изъ простой пропорціи число вѣсовыхъ частей другаго элемента, необходимое для образованія съ первымъ химическаго соединенія.

Кромѣ того, числа эти показываютъ также относительныя части вѣса, въ которыхъ прочіе элементы соединяются между собою, независимо отъ кислорода. Такъ напр. твердое тѣло калій соединяется легко съ газообразнымъ тѣломъ хлоромъ; изслѣдуя отношеніе вѣсовъ, въ которомъ происходитъ соединеніе этихъ тѣлъ, находимъ, что 490 частей по вѣсу калія соединяются съ 443,7 частями по вѣсу хлора; слѣдовательно здѣсь мы встрѣчаемъ точно тоже отношеніе, какъ и при отдѣльномъ соединеніи этихъ тѣлъ съ кислородомъ. Углеродъ соединяется съ хлоромъ въ отношеніи 75 частей къ 443,7 частей, и въ этомъ случаѣ число частей углерода, необходимое для соединенія съ кислородомъ, достаточно для соединенія съ тѣмъ числомъ частей вѣса хлора, которое сохраняетъ это послѣднее тѣло относительно калія и кислорода. Однимъ словомъ, если мы опредѣлили число вѣсовыхъ частей какого нибудь элемента, необходимое для соединенія съ извѣстнымъ числомъ другаго элемента, то имѣемъ право вывести заключеніе, что полученное число будетъ точно также относиться и къ другимъ элементамъ. Поэтому приведенныя нами выше числа показываютъ *то количество вѣса, въ которомъ должно взять каждый изъ элементовъ для того, чтобы онъ могъ замѣнить въ какомъ нибудь соединеніи другой элементъ. Они означаютъ, такъ сказать, равное значеніе элементовъ и поэтому называются эквивалентами или химическими паями простыхъ тѣлъ.*

Числа эти были опредѣлены учеными со всевозможною тщательностію; они поставлены нами возлѣ каждаго изъ поименованныхъ выше простыхъ тѣлъ, которымъ они соотвѣтствуютъ. Изъ самаго свойства этихъ чиселъ слѣдуетъ, что они могутъ быть отнесены къ каждому элементу и къ произвольному количеству вѣса послѣдняго. Тѣмъ не менѣе принято относить эти числа или ко 100 частямъ вѣса кислорода или къ 1 части вѣса водорода. Въ послѣднемъ случаѣ получаются меньшія числа, которыя могутъ быть легче удерживаемы въ памяти.

Не взирая на эти различія какъ тѣ, такъ и другія числа имѣютъ относительныя значенія и весьма легко переводить одинъ рядъ чиселъ на другой.

Если пай кислорода равенъ 100, то пай водорода будетъ равенъ 12,5. Если же пай водорода = 1, то пай кислорода будетъ равенъ 8 (100 : 12,5 = 8 : 1). Поэтому для полученія паевъ, соотвѣтствующихъ единичному паю водорода, должно раздѣлить на 12,5 числа отнесенныя ко 100 ч. кислорода; для обратнаго превращенія должно помножить паи отнесенные къ водороду на 12,5.

§ 219. До сихъ поръ мы предполагали, что простыя тѣла соединяются между собою *только* въ одномъ отношеніи вѣсовъ. Опытъ же показываетъ намъ, что извѣстныя тѣла образуютъ съ другими цѣлый рядъ соединеній; такъ напр. азотъ соединяется съ кислородомъ въ пяти содержаніяхъ. Но и въ этомъ отношеніи тѣла покоряются весьма простому закону, который имѣетъ близкое соотношеніе съ паями тѣлъ. Возмемъ азотъ и кислородъ: 175 частей вѣса азота соединяются со 100, 200, 300, 400 и 500 частями по вѣсу кислорода. Эти числа относятся къ паямъ обоихъ элементовъ какъ 1 : 1 : 2 : 3 : 4 : 5. Отсюда слѣдуетъ, что 1 экивалентъ азота даетъ съ 1, 2, 3, 4, 5 экивалентами кислорода пять различныхъ соединеній, въ которыхъ число частей по вѣсу кислорода всегда составляетъ простой множитель пая этого тѣла. Законъ кратныхъ пропорцій.

Но не всегда это отношеніе бываетъ такъ просто, напр. металлъ марганецъ даетъ нѣсколько соединеній съ кислородомъ, изъ которыхъ въ первомъ на 1 пай = 345 заключается 100 частей по вѣсу кислорода, во второмъ въ 150, третьемъ 200, въ четвертомъ 300 и въ пятомъ 350 частей. Числа эти, отнесенныя къ паямъ, даютъ отношеніе 1 : 1 : $1^1/_2$: 2 : 3 : $3^1/_2$. Хотя отношенія въ дробныхъ числахъ и не противорѣчатъ собственно понятію о паѣ *, но для большаго удобства въ выраженіи состава тѣлъ мы предполагаемъ во второмъ соединеніи на 2 пая марганца 3 пая кислорода, а въ пятомъ соединеніи на 2 пая марганца должны допустить 7 паевъ кислорода; въ справедливости этого предположенія мы убѣждаемся также другими причинами.

Показанный нами законъ, которому подчинены всѣ парныя соединенія простыхъ тѣлъ между собою, былъ выведенъ въ 1807 году англійскимъ ученымъ Дельтономъ и извѣстенъ въ химіи подъ названіемъ *закона кратныхъ пропорцій*.

Онъ можетъ быть выраженъ слѣдующими словами: если простое тѣло А даетъ нѣсколько соединеній съ другимъ простымъ тѣломъ В и если вычислить число частей вѣса, приходящееся въ различныхъ соединеніяхъ для одного и того же вѣса тѣла А, то количества вѣса тѣла В во всѣхъ соединеніяхъ, по сравненіи между собою, будутъ находиться въ простомъ между собою содержаніи.

Для лучшаго объясненія этого закона возмемъ опять азотъ и кислородъ:

первое соединеніе этихъ тѣлъ (азотистая окись) состоитъ изъ	63,63	азота,
	36,37	кислор.
	100,00	
второе соединеніе этихъ тѣлъ (азотная окись) » »	46,66	азота,
	53,34	кислор.
	100,00.	

* Подробнѣе см. у Гесса, 7-е изд. стр. 530.

третье соединеніе этихъ тѣлъ (азотистая к.)	состоитъ	изъ	36,84 азота, 63,16 кислор. 100,00.
четвертое соединеніе этихъ тѣлъ (азотноватая к.)	»	»	30,43 азота, 69,57 кислор. 100,00
пятое соединеніе этихъ тѣлъ (азотная к.)	»	»	25,93 азота, 74,07 кислор. 100,00

Простой взглядъ на эти соединенія не даетъ никакого понятія объ отношеніи вѣсовъ, но если вычислить, сколько частей одного тѣла приходится въ каждомъ соединеніи на одно и тоже число вѣса другаго тѣла, напр. азота, то увидимъ, что числа вѣса кислорода, приходящіяся въ каждомъ соединеніи на одно и тоже количество азота, относятся между собою какъ 1 : 2 : 3 : 4 : 5. При этомъ очевидно все равно, какое бы мы не взяли количество азота; возмемъ напр. число 14. Если въ первомъ соединеніи на 63,63 ч. азота приходится 36,37 ч. кислор., то на 14 ч. азота мы получимъ 8 частей кислорода; разсуждая точно также, получимъ для втораго соединенія 16 частей кислорода, для третьяго — 24 ч. кислор., для четвертаго — 32 ч. кислор. и для пятаго— 40 ч. кислор. Эти числа 8, 16, 24, 32 и 40, выражающія число частей кислорода, соединяющееся съ 14 частями азота, содержатся между собою какъ 1 : 2 : 3 : 4 : 5.

Сказанное нами о парныхъ соединеніяхъ элементовъ относится и къ соединеніямъ бóльшаго числа элементовъ. Такъ напр. возмемъ соединеніе, состоящее изъ 200 частей сѣры, 200 частей кислорода и 443,3 ч. хлора. Отношенія паевъ могутъ быть выражены въ этомъ случаѣ числами 1 : 2 : 1. Тоже самое простое отношеніе паевъ замѣчается и у болѣе сложныхъ тѣлъ.

Если два или нѣсколько паевъ соединяются между собою посредствомъ сродства, то полученное соединеніе весьма часто въ состояніи соединяться съ другими сложными тѣлами и образовать такимъ образомъ соединенія высшаго порядка. Но и послѣднія всегда совершаются въ опредѣленномъ отношеніи частей вѣса. Такъ напр. 1 пай углерода соединяется съ 2 паями кислорода и образуетъ углекислоту. Поэтому послѣдняя на 75 частей или пай углерода заключаетъ 200 паевъ кислорода, и слѣдовательно можно сказать, что пай углекислоты = 275, т. е. суммѣ двухъ паевъ кислорода и паю углерода. И въ самомъ дѣлѣ, если углекислота входитъ въ другое соединеніе, то количество углекислоты всегда равно приведенному паю или числу происшедшему отъ умноженія этого пая на простой множитель. Возмемъ для примѣра соединеніе углекислоты съ кали, состоящимъ изъ металла калія и кислорода. Пай кали равенъ 590; съ этимъ количествомъ соединяются, смотря по обстоятельствамъ, или 275 ч. или 550 ч. углекислоты. Число соединенныхъ паевъ относится здѣсь какъ 1 : 1 или какъ 1 : 2. Какъ кали на 590 частей заключаетъ 100 ч. кислорода, а въ углекислотѣ содержится 200 частей послѣдняго, то для кислорода общей части обоихъ соединеній получается весьма простое отношеніе, а именно въ соединеніи съ 275 ч. углекислоты оно равно 1 : 2; въ соединеніи же съ 550 ч. углекислоты оно равно 1 : 4.

На этомъ основаніи мы имѣемъ право сказать, что *пай сложнаго тѣла равенъ суммѣ паевъ тѣлъ, его составляющихъ, и что во всякомъ соединеніи, состоящемъ изъ двухъ парныхъ соединеній, въ которыя входитъ общею частію одно простое тѣло, количества вѣса послѣдняго въ обоихъ парныхъ соединеніяхъ находятся въ простомъ отношеніи паевъ.*

Точное знаніе паевъ простыхъ тѣлъ доставляетъ намъ большую пользу; во многихъ случаяхъ оно позволяетъ намъ опредѣлять паи ихъ соединеній. Положимъ напр., что упомянутая выше углекислота есть еще неопредѣленное до настоящаго времени соединеніе. Съ помощію разложенія можно доказать, что она состоитъ изъ углерода и кислорода, которыхъ паи съ точностію извѣстны. Тогда опредѣляютъ посредствомъ разложенія, сколько частей вѣса отдѣльныхъ простыхъ тѣлъ заключается во 100 частяхъ вѣса ихъ соединенія. Находятъ, что во 100 ч. углекислоты заключается 27,27 углерода и 72,73 кислорода.

На основаніи приведенныхъ выше законовъ извѣстно, что простыя тѣла соединяются въ отношеніи паевъ; поэтому остается опредѣлить, въ какомъ содержаніи паевъ соединены въ углекислотѣ углеродъ и кислородъ. Это найти легко, раздѣливши найденныя нами части вѣса 27,27 и 72,73 на паи обоихъ простыхъ тѣлъ: 27,27 : 75 = 0,3636; 72,73 : 100 = 0,7273. Эти частныя даютъ намъ отношенія углерода и кислорода въ паяхъ 3636 : 7273 = 1 : 2. Чтобы опредѣлить теперь, сколько именно паевъ углерода и кислорода заключается въ углекислотѣ, намъ должно опредѣлить пай этого соединенія; это мы можемъ сдѣлать путемъ опыта, опредѣливъ, какое количество углекислоты соединяется съ тѣломъ, котораго пай уже намъ извѣстенъ. Мы знаемъ, что 275 частей въ углекислотѣ соединяются съ 590 ч. вѣса (1 паемъ) кали; слѣдовательно на одинъ пай кали въ углекислотѣ приходится 1 пай углерода и 2 пая кислорода. Это въ свою очередь даетъ намъ право заключать, что въ одномъ паѣ углекислоты содержится 1 пай углерода и 2 пая кислорода.

§ 220. Изслѣдованіе паевъ показываетъ намъ, что всѣ химическіе процессы совершаются на основаніи постоянныхъ отношеній вѣсовъ, которыя могутъ быть выражены числами. Такъ напр. съ помощію многихъ опытовъ опредѣлено съ точностію, что если привести въ соединеніе углекислое кали съ хлористо-водородною кислотою, то выдѣляется углекислота и образуется хлористый калій и вода. Опытъ показываетъ намъ также, что при этомъ процессѣ 865 частей вѣса = 1 паю углекислаго кали входитъ въ соединеніе 456,3 частями вѣса = 1 паю хлор. вод. кислоты и даютъ 275 ч. вѣса = 1 паю углекислоты, 112,5 частей вѣса 1 пая воды и 933,7 частей вѣса = 1 паю хлористаго калія. Одинъ уже этотъ примѣръ показываетъ, какъ затруднительно было бы удерживать въ памяти ходъ каждаго процесса, представленный такимъ образомъ. Чтобы устранить это неудобство и вмѣстѣ съ тѣмъ доставить возможность легче обозрѣвать ходъ каждаго химическаго процесса, условились выражать каждое тѣло первою буквою латинскаго его названія; такъ напр. Сѣру (sulphur) означаютъ чрезъ *S*, а если буква *S* повторяется для другаго тѣла, то прибавляютъ къ ней вторую букву: селенъ (selenium) *Se*, силицій (silicium) *Si*, и т. д. Подъ этими буквами условились разумѣть не только одни названія простыхъ тѣлъ, но и паи ихъ; такъ напр. *O* означаетъ не только кислородъ, но вмѣстѣ съ

Химическіе знаки и формулы.

тѣмъ и 100 ч. его вѣса или его пай. *H* — 12,5 ч. вѣса водорода и т. д. Всѣ эти буквы поставлены нами выше возлѣ названій простыхъ тѣлъ; съ принятіемъ этихъ знаковъ получилась возможность дѣлать нагляднымъ составъ соединеній. Если соединеніе по одному паю двухъ простыхъ тѣлъ, то для означенія соединенія знаки тѣлъ ставятся рядомъ, наприм. *HO* вода изъ 100 частей кислорода и 12,5 водорода; *KO* — кали и т. д. Если въ соединеніи одного тѣла находится нѣсколько паевъ, то число паевъ его пишется вправо отъ соотвѣтствующаго знака, напр. SO_2 означаетъ соединеніе одного пая сѣры съ двумя паями кислорода. Если хотятъ выразить, что въ соединеніи заключается напр. два пая какого нибудь парнаго соединенія, напр. сѣрной кислоты, то пишутъ $2SO_3$; $2SO_3$, *KO* означаетъ 2 пая SO_3 въ соединеніи съ однимъ паемъ *KO*. Если же соединеніе написано такъ: $2(KO, SO_3)$, то это значитъ два пая соединенія SO_3, *KO*. Если нѣсколько такихъ соединеній входятъ въ составъ сложнаго тѣла, то между ними ставятъ знакъ + напр. $Al_2\,O_3$, $3SO_3 + KO$, $SO_3 + 24\ HO$. Всѣ эти составные знаки извѣстны въ химіи подъ названіемъ *химическихъ формулъ*.

Какъ кислородъ входитъ весьма часто въ соединенія, то нѣкоторые означаютъ его точкою; поэтому вмѣсто *HO* пишутъ $\dot{H}$. Точно также для означенія соединенія 2 паевъ одного простаго тѣла съ однимъ или многими паями кислорода знакъ перваго прочеркивается, такъ напр. пишутъ $\overline{\dddot{A}l}$ вмѣсто Al_2O_3. Показанные нами знаки служатъ не только для означенія соединеній, но даютъ понятіе и о самомъ разложеніи. Для представленія послѣдняго знаками ставятъ + между знаками тѣлъ, образующими извѣстное разложеніе, потомъ ставятъ знакъ равенства и за нимъ пишутъ формулы разложенныхъ тѣлъ. Такъ напр. желая означить разложеніе, полученное отъ взаимнаго дѣйствія углекислаго кали и хлористо-водородной кислоты, пишутъ $KO, CO_2 + ClH = KCl + HO + CO_2$; $KS_5 + SO_3, HO = KO, SO_3 + SH + 4S$. Это значитъ, что соединеніе 1 пая калія съ 5 паями сѣры отъ соединенія SO_3 съ *HO* распадается на 4 пая сѣры, 1 пай сѣрнокислаго кали и 1 пай сѣрнистаго водорода.

Атомическая теорія и теорія объемовъ.

§ 221. Для объясненія приведенныхъ нами выше химическихъ законовъ прибѣгаютъ къ такъ называемой *атомической теоріи*. Какъ уже извѣстно, подъ атомами разумѣютъ такія частицы матеріи, которыя не могутъ быть подраздѣлены далѣе на мельчайшія части. Хотя объ удѣльномъ вѣсѣ этихъ небольшихъ частицъ мы не можемъ составить себѣ даже приблизительнаго понятія, тѣмъ не менѣе мы можемъ принять, что атомы простыхъ тѣлъ обладаютъ различнымъ вѣсомъ, такъ напр. мы можемъ допустить, что одинъ атомъ сѣры въ два раза тяжелѣе 1 атома кислорода. Если же мы предположимъ, что эти относительные вѣса различныхъ атомовъ находятся въ томъ же отношеніи между собою, какъ и паи простыхъ тѣлъ, и что химическія соединенія заключаются собственно во взаимномъ расположеніи атомовъ другъ возлѣ друга, то очевидно этимъ легко можетъ быть объяснено замѣченное опытомъ постоянное отношеніе вѣсовъ. Одинъ атомъ калія въ 4,9 разъ тяжелѣе 1 атома кислорода; если оба эти атома расположатся другъ возлѣ друга и дадутъ кали, то очевидно, что въ соединеніи на 100 частей вѣса кислорода будетъ 490 частей вѣса калія. Изъ сказаннаго слѣдуетъ, что тоже отношеніе вѣсовъ будетъ существовать, если произвольное число атомовъ кали соединится съ равнымъ числомъ атомовъ кислорода. Какъ необходимое слѣдствіе изъ приведенной ипотезы вытекаетъ законъ кратныхъ пропорцій. Если атомы по 2, 3, 5 и болѣе соединяются съ 1 или многими атомами другаго простаго тѣла, то очевидно, что эти 3, 4 или болѣе атомовъ должны вѣсить въ 3, 4 и т. д. разъ

болѣе противу 1 атома. Если извѣстная группа атомовъ обнаруживаетъ сродство, то при дальнѣйшемъ соединеніи она должна располагаться возлѣ другой группы. Поэтому всегда получается, что пай соединенія равенъ суммѣ паевъ отдѣльныхъ простыхъ тѣлъ, заключающихся въ немъ. Въ смыслѣ атомической теоріи опредѣленные опытомъ паи тѣлъ называются *вѣсами атомовъ* ихъ.

Атомическая теорія объясняетъ при томъ много другихъ фактовъ, имѣющихъ близкое соотношеніе къ химическимъ явленіямъ. Какъ мы уже говорили, гораздо выше, подъ удѣльнымъ вѣсомъ каждаго тѣла разумѣютъ число, во сколько разъ извѣстный объемъ этого тѣла тяжелѣе или легче равнаго объема другаго тѣла, принятаго за единицу. Для газовъ принимаютъ за единицу атмосферный воздухъ и поэтому если говорятъ, что удѣльный вѣсъ кислорода = 1,1026, то это значитъ, что на основаніи опытовъ произвольный объемъ кислорода, напр. 1 куб. футъ при равномъ давленіи воздуха и при одинаковой температурѣ въ 1,1026 разъ тяжелѣе равнаго объема атмосфернаго воздуха; изъ подобныхъ сравненій получается результатъ, что паи находятся въ весьма простомъ отношеніи съ удѣльными вѣсами. Для объясненія этого приведемъ для нѣкоторыхъ газовъ тѣ отношенія вѣсовъ, которыя получаются отъ сравненія вѣса одного объема кислорода съ однимъ равнымъ объемомъ другаго газа:

	удѣльный вѣсъ		пай	
кислородъ	100,000	— —	100,000	= 1 : 1
водородъ.	6,263	— —	12,500	= 1 : 2
хлоръ	221,825	— —	443,650	= 1 : 2
бромъ	489,150	— —	978,310	= 1 : 2
іодъ	789,145	— —	1580,290	= 1 : 2
азотъ	87,500	— —	175,000	= 1 : 2
фосфоръ.	392,310	— —	400,000	= 1 : 1
мышьякъ	980,084	— —	937,500	= 1 : 1

Изъ этой небольшой таблицы слѣдуетъ, что соединенія простыхъ тѣлъ должны совершаться по весьма простымъ отношеніямъ между объемами; и въ самомъ дѣлѣ, если напр. 100 частей вѣса (1 пай) кислорода должны соединиться съ 12,5 ч. вѣса (1 пай) водорода, то на 1 объемъ кислорода потребны будутъ 2 объема водорода, потому что одинъ и тотъ же объемъ, содержащій 100 частей вѣса кислорода, въ состояніи заключать только 6.25 частей вѣса водорода, т. е. ½ пая. Напротивъ того у хлора и водорода видимъ мы, что удѣльные вѣса обоихъ газовъ находятся въ одномъ отношеніи съ ихъ паями. Слѣдовательно, если оба эти тѣла соединяются между собою, то соединеніе ихъ должно совершаться въ равныхъ частяхъ объемовъ. Тоже самое повторяется и въ отношеніяхъ объемовъ газообразныхъ соединеній, образовавшихся отъ соединенія двухъ газовъ.

При всѣхъ соединеніяхъ по объему замѣчаютъ, что пространство, принимаемое продуктомъ соединенія, или равно въ точности тому, которое занимали прежде простыя тѣла до своего соединенія, такъ что объемъ остался неизмѣннымъ, или произошло уменьшеніе объема, или наконецъ, что весьма рѣдко, увеличеніе его. Въ обоихъ послѣднихъ случаяхъ объемы продукта соединенія всегда находятся въ самомъ простомъ отношеніи къ тѣмъ объемамъ, которые занимали простыя тѣла до своего соединенія. Уменьшеніе объема, какъ показываютъ опыты, совершается съ 2 на 1, съ 3 на 2 и съ 4 на 2. Эти весьма важныя отношенія могутъ быть объяснены просто по атомической теоріи, если мы примемъ, что при равномъ давленіи воздуха и при равной температурѣ газы въ одинаковомъ объемѣ заключаютъ *одинаковое число* атомовъ.

А какъ атомы различныхъ простыхъ тѣлъ отличаются ихъ опредѣленнымъ неизмѣннымъ вѣсомъ, то при образованіи соединенія, въ частяхъ объема, послѣднія должны быть въ томъ отношеніи вѣсовъ, которое представляютъ атомы.

При указанномъ нами сравненіи удѣльныхъ вѣсовъ съ паями замѣчаютъ, что кислородъ и водородъ не соединяются въ равныхъ частяхъ объема въ томъ случаѣ, когда соединяются между собою равные паи обоихъ тѣлъ, потому что 100 частей вѣса кислорода требуютъ 12,5 частей вѣса водорода. Въ пространствѣ же, заключающемъ сто произвольныхъ частей вѣса кислорода помѣщаются только 6,25 частей вѣса водорода, слѣдовательно только половина пая этого послѣдняго тѣла. А какъ по смыслу атомической теоріи въ каждомъ равномъ объемѣ простыхъ газовъ подразумѣвается одинаковое число атомовъ, то должно въ послѣднемъ случаѣ сказать: 1 атомъ кислорода соединяется съ 2 атомами водорода, причемъ очевидно числа, выражающія вѣсъ атома и пай водорода, не равны между собою; первое изъ нихъ должно быть въ половину менѣе противу послѣдняго. Если же на основаніи атомической теоріи подъ знаками для простыхъ тѣлъ должно разумѣть въ тоже время и удѣльные вѣса этихъ тѣлъ, то H не будетъ уже болѣе, какъ прежде, означать 12,5 частей вѣса, но только 6,25 и формула соединенія обоихъ элементовъ будетъ тогда: H_2O; изъ этой формулы слѣдуетъ, что безъ измѣненія отношеній вѣса соединяются собственно 2 атома водорода съ 1 атомомъ кислорода, или что одно и тоже, 2 части объема водорода съ 1 частію объема кислорода. Подобныя отношенія къ кислороду имѣютъ также азотъ, хлоръ, бромъ и іодъ; при соединеніяхъ этихъ тѣлъ вѣсъ объема или вѣсъ атома не совпадаетъ съ паемъ, но бываетъ въ половину менѣе послѣдняго; въ этихъ соединеніяхъ, по смыслу атомической теоріи, мы должны предполагать удвоенное число атомовъ противу паевъ. Въ азотистой окиси напр. мы встрѣчаемъ равные паи азота и кислорода, т. е. 175 частей азота на 100 ч. кислорода; поэтому обыкновенная формула для азотистой окиси будетъ NO; но въ азотистой окиси на 1 часть объема кислорода содержатся 2 части объема азота; слѣдовательно, если объемъ и атомъ должны быть одинаково принимаемы, то формулу этого соединенія слѣдуетъ изображать чрезъ N_2O.

Приведенныя здѣсь предположенія извѣстны подъ названіемъ *теоріи объемовъ*, которой придерживаются въ настоящее время только немногіе физики. Противу этой теоріи говорятъ многія явленія. И въ самомъ дѣлѣ, опытъ показываетъ, что тѣ простыя тѣла, которыя по теоріи объемовъ вообще образуютъ соединенія 2 атомовъ, никогда не соединяются менѣе того отношенія вѣсовъ, которое соотвѣтствуетъ паямъ ихъ. Если 1 атомъ кислорода вѣситъ 100, то 1 атомъ водорода вѣситъ 6,25, но никогда не соединяется менѣе 6,25 водорода съ 1 паемъ другихъ простыхъ тѣлъ; тоже самое представляютъ намъ углеродъ, хлоръ, бромъ, іодъ и др. Хлоръ соединяется съ водородомъ въ отношеніи вѣсовъ какъ 221,8 къ 6,25, но если изслѣдовать разложенія и соединенія продукта, полученнаго изъ этого соединенія, то находятъ, что собственно соединяется удвоенное число простыхъ тѣлъ, слѣдовательно 443,6 хлора съ 12,5 водорода, т. е. въ частяхъ вѣса въ точности соотвѣтствующихъ паямъ этихъ тѣлъ. Какъ отдѣльные атомы этихъ простыхъ тѣлъ не входятъ въ соединеніе, то должны были допустить существованіе *нераздѣльныхъ двойныхъ* атомовъ.

Объемъ пая и объемъ атома. § 222. Если и нельзя составить себѣ понятія объ абсолютной величинѣ атомовъ, то можно опредѣлить посредствомъ вычисленія относительное значеніе этихъ величинъ, т. е. число, выражающее во сколько разъ атомы одного простаго тѣла болѣе атомовъ другаго. Понятно, что вѣсъ одного атома будетъ тѣмъ болѣе, чѣмъ значительнѣе его удѣльный вѣсъ и слѣдовательно пространство, занимаемое атомомъ, есть его объемъ. Оба эти обстоятельства обусловливаютъ вѣсъ атома.

Поэтому если мы означимъ чрезъ A вѣсъ атома какого нибудь тѣла, чрезъ S его удѣльный вѣсъ, и чрезъ V его объемъ, то $A = SV$, откуда $V = \frac{A}{S}$. Слѣдовательно должно раздѣлить только вѣсъ атома на удѣльный вѣсъ для полученія *относительнаго* объема атома. Подвергая подобному вычисленію

газообразныя простыя тѣла, получимъ весьма простыя числа. При кислородѣ получимъ мы для объема $\frac{100}{100} = 1$. Если на основаніи теоріи объемовъ положить количество водорода, заключающееся въ одинаковомъ объемѣ, равнымъ вѣсу атома этого тѣла, то получимъ $\frac{6,25}{6,25}$, слѣдовательно снова одно и тоже число получится для хлора, брома, іода, азота, мышьяка и фосфора. На этомъ основаніи можно заключать, что атомы кислорода, водорода, азота, хлора, брома, фосфора и мышьяка одинаковы. Со всѣмъ другое получается въ томъ случаѣ, если мы примемъ вмѣсто вѣсовъ атомовъ паи этихъ тѣлъ. Мы знаемъ, что водородъ соединяется съ кислородомъ въ отношеніи объемовъ какъ 2 : 1. Эти 2 объема представляютъ пай и поэтому въ два раза больше пая кислорода. Если раздѣлить пай 12,5 на удѣльный вѣсъ 6,25, то получимъ число 2 какъ *объемъ пая* водорода и число это не зависитъ вовсе отъ атомической теоріи; оно говоритъ, что пай водорода, при одинаковыхъ прочихъ обстоятельствахъ, занимаетъ удвоенное пространство противу пая кислорода.

Точно также можно вычислить и для твердыхъ и жидкихъ простыхъ тѣлъ изъ паевъ и удѣльныхъ вѣсовъ относительный объемъ паевъ этихъ тѣлъ. И тутъ получаются также простыя отношенія для простыхъ тѣлъ и для цѣлаго ряда ихъ получается одинаковый объемъ пая. Соединенія же тѣлъ представляютъ уклоненія отъ этого результата; вычисленные для нихъ объемы паевъ бываютъ болѣе или менѣе противу тѣхъ, которые получаются, если сложить просто объемы паевъ, неизмѣненныхъ элементовъ, но при этомъ уменьшенія и увеличенія не слѣдуютъ уже тѣмъ простымъ отношеніямъ, которыя мы видѣли выше при соединеніяхъ газовъ. Но должно здѣсь замѣтить, что отношенія эти для твердыхъ и жидкихъ тѣлъ не могутъ быть опредѣлены съ совершенною точностію, потому что точное опредѣленіе удѣльнаго вѣса твердыхъ и жидкихъ тѣлъ соединено съ большими затрудненіями, между которыми главное то, что какъ твердыя, такъ и жидкія тѣла, вслѣдствіе особенныхъ свойствъ своихъ, расширяются весьма различно при равныхъ градусахъ высокихъ температуръ, тогда какъ газы представляютъ большую равномѣрность въ этомъ отношеніи. Поэтому должно предварительно опредѣлить, какую температуру слѣдуетъ сообщить твердому или жидкому тѣлу для того, чтобы его объемъ при опредѣленіи удѣльнаго вѣса могъ быть сравниваемъ съ объемомъ другаго тѣла, расширяющагося различно отъ теплоты.

Объ отношеніи паевъ тѣлъ къ удѣльной теплотѣ ихъ и къ электричеству мы будемъ говорить впослѣдствіи при разсмотрѣніи этихъ явленій.

§ 223. Перейдемъ теперь къ разсмотрѣнію обстоятельствъ, имѣющихъ вліяніе на силу химическаго притяженія или сродства. Для содѣйствія силѣ сродства весьма часто прибѣгаютъ къ пособію постороннихъ обстоятельствъ. Чтобы два тѣла соединялись между собою химически, необходимо вопервыхъ *непосредственное прикосновеніе* ихъ частицъ.

Обстоятельства, имѣющія вліяніе на силу сродства.

Второе условіе, содѣйствующее сродству, заключается *въ подвижности частицъ* тѣлъ. Твердыя тѣла не соединяются между собою даже и при обнаруженіи сильнаго сродства, потому что частицы тѣлъ, хотя и притягиваются между собою, но не могутъ размѣститься другъ возлѣ друга. Для образованія соединенія одно изъ соединяющихся тѣлъ необходимо должно быть или въ жидкомъ или въ газообразномъ состояніи. Прежніе химики означали этотъ законъ извѣстнымъ латинскимъ выраженіемъ: *corpora non agunt, nisi fluida*.

Но и при выполненіи этихъ условій сила сродства можетъ дѣйствовать различно, смотря по расположенію частицъ въ тѣлѣ, такъ

напр., смотря потому, въ кристаллическомъ или некристаллическомъ состояніи находится тѣло; въ первомъ случаѣ одно и тоже тѣло входитъ въ соединеніе легче, нежели во второмъ.

3) Весьма часто помогаетъ соединенію участіе *теплоты;* можно вообще сказать, что образованіе и разложеніе химическихъ соединеній всегда совершается только между извѣстными предѣлами состоянія теплоты. Тѣла, соединяющіяся при обыкновенной или при возвышенной температурѣ, не входятъ въ соединеніе, если ихъ достаточно охладить. Самая степень теплоты зависитъ отъ вещества, такъ напр. углеродъ для непосредственнаго соединенія съ кислородомъ требуетъ значительной степени теплоты; смѣсь изъ кислорода и водорода вступаетъ тогда въ химическое соединеніе, когда она нагрѣется до 400°. Хлоръ и калій напротивъ того соединяются при обыкновенной температурѣ; точно также хлоръ и фосфоръ. Но если охладить оба послѣднія тѣла, напр. до —80°, то они не дѣйствуютъ химически другъ на друга. По всей вѣроятности измѣненія въ силѣ сцѣпленія, производимыя измѣненіями теплоты, служатъ причиною ослабленія и усиленія силы сродства. Этимъ свойствомъ теплоты пользуются при многихъ химическихъ процессахъ, вслѣдствіе чего употребляются въ химіи при практическихъ производствахъ различные снаряды для нагрѣванія тѣлъ: печи, лампы и т. п.

4) При химическихъ процессахъ принимаетъ также участіе въ извѣстной степени *свѣтъ* и электричество. Химическія явленія, зависящія отъ свѣта и электричества, будутъ изложены нами впослѣдствіи.

5) Часто соединеніе двухъ тѣлъ, независимо отъ приведенныхъ нами условій, происходитъ само собою, при самомъ выдѣленіи одного или обоихъ тѣлъ изъ другаго соединенія; мы должны предполагать, что тогда тѣла появляются въ состояніи наиболѣе благопріятствующемъ сродству. Такое состояніе называется *status nascens*, *моментомъ возрожденія*. Такъ напр. водородъ и мышьякъ не соединяются непосредственно; еще менѣе измѣняются водородомъ при обыкновенной температурѣ кислородныя соединенія мышьяка. Но если привести ихъ въ соединеніе съ жидкостію, въ которой отдѣляется водородъ, вслѣдствіе какого нибудь химическаго процесса, то водородъ не только соединяется съ кислородомъ мышьяковыхъ соединеній, но и съ самымъ мышьякомъ.

Состояніе частицъ тѣлъ при соединеніи ихъ.

§ 224. При совершеніи каждаго химическаго соединенія мы имѣемъ право предполагать въ *движеніи* частицы тѣлъ, причемъ для надлежащаго размѣщенія частицъ потребно извѣстное время. Время это во многихъ случаяхъ весьма короткое и неизмѣримое, при наблюденіи, для иныхъ соединеній, напротивъ того, бываетъ весьма продолжительно. Кислородъ и водородъ нагрѣтые соединяются съ чрезвычайною быстротою, такъ что значительный объемъ смѣси газовъ въ одинъ моментъ превращается въ воду. Раскаленное желѣзо соединяется весьма скоро съ кислородомъ воздуха. Ржавчина, которая есть также ни что иное, какъ соединеніе кислорода съ желѣзомъ, образуется весьма медленно при обыкновенной температурѣ.

§ 225. Какъ парныя, такъ и болѣе сложныя соединенія подвергаются въ извѣстныхъ обстоятельствахъ разложенію, причемъ или образуются другія соединенія или выдѣляются простыя тѣла. Разложеніе зависитъ также отъ различныхъ внѣшнихъ обстоятельствъ. Теплота, которая, какъ мы видѣли, весьма сильно благопріятствуетъ соединенію тѣлъ, въ иныхъ случаяхъ помогаетъ разложенію соединеній, дѣйствуя при этомъ непосредственно на силу сцѣпленія. Химическія разложенія.

Такъ напр. красная ртутная окись отъ нагрѣванія разлагается на ртуть и кислородъ. Еще легче происходитъ разложеніе отъ дѣйствія теплоты при сложныхъ соединеніяхъ, но въ этомъ случаѣ тѣла, образующія ихъ, даютъ большею частію тотчасъ послѣ разложенія новыя соединенія. Кромѣ теплоты на разложеніе тѣлъ оказываетъ вліяніе свѣтъ и электричество.

Но однимъ изъ главныхъ дѣйствователей при разложеніи бываетъ само сродство. Разложенія происходятъ весьма часто въ томъ случаѣ, когда приводятся во взаимное прикосновеніе вещества, составныя части которыхъ обладаютъ сильнѣйшимъ сродствомъ между собою, нежели къ тѣмъ тѣламъ, съ которыми они были первоначально соединены. Прежде называли сродство, производившее разложеніе, *избирательнымъ* и различали три рода его, желая тѣмъ означить различные случаи дѣйствія его, но какъ невозможно было подвести всѣхъ явленій подъ эти три рода, то это раздѣленіе и самое названіе избирательнаго сродства было вскорѣ оставлено.

§ 226. Изъ всего сказаннаго нами слѣдуетъ, что химическіе процессы зависятъ отъ множества различныхъ обстоятельствъ; тѣмъ не менѣе изъ наблюденій и опыта былъ выведенъ слѣдующій общій законъ: *при одинаковыхъ обстоятельствахъ всегда получаются одинаковые результаты химическаго дѣйствія.* Постоянство химическихъ законовъ.

Нѣкоторыя явленія кажутся съ перваго взгляда противорѣчащими этому закону; такъ напр. если проводить водяной паръ чрезъ трубку изъ раскаленнаго желѣза, то вода разлагается, желѣзо соединяется съ кислородомъ, а водородъ дѣлается свободнымъ. Если же надъ образовавшимся соединеніемъ кислорода съ желѣзомъ, провести при той же температурѣ водородъ, то послѣдній соединяется съ кислородомъ, а желѣзо дѣлается свободнымъ. Это обратное дѣйствіе объясняется прилипаніемъ, которое оказываетъ въ первомъ случаѣ водородъ къ водянымъ парамъ, а во второмъ водяные пары къ водороду; оба тѣла образуются, смотря по обстоятельствамъ, для присоединенія другъ къ другу; при чемъ, въ первомъ случаѣ, находится въ избыткѣ водяной паръ, а во второмъ—водородъ; поэтому обстоятельства, сопровождающія эти явленія, въ сущности различны.

§ 227. Перейдемъ теперь къ отдѣльному разсмотрѣнію главнѣйшихъ простыхъ тѣлъ и важнѣйшихъ ихъ соединеній. Раздѣленіе простыхъ тѣлъ.

Тѣла эти обыкновенно раздѣляютъ на два отдѣла: на *металлоиды* (отъ греческихъ словъ μέταλλον, металлъ и εἶδος, видъ, сходство) и на *металлы.*

Дѣленіе это основано на извѣстномъ различіи наружныхъ свойствъ тѣлъ; различіе это въ строгомъ смыслѣ не представляетъ точности, потому что наружныя свойства, принадлежащія одной группѣ тѣлъ,

повторяются и въ другой группѣ. Но эта неточность не имѣетъ большой важности, потому что раздѣленіе тѣлъ на металлоиды и металлы принято собственно для облегченія изученія.

Всѣ тѣла, обладающія большимъ удѣльнымъ вѣсомъ, непрозрачностію, блескомъ и твердостію, относятъ къ металламъ. Прочія же тѣла, не представляющія этихъ свойствъ, принято относить къ металлоидамъ. Къ числу ихъ принадлежатъ: кислородъ, водородъ, азотъ, хлоръ, бромъ, іодъ, фторъ, сѣра, селенъ, фосфоръ, углеродъ, боръ и кремній; нѣкоторые относятъ къ металлоидамъ и мышьякъ. Изъ нихъ кислородъ, водородъ, азотъ, хлоръ и фторъ суть тѣла газообразныя; бромъ — капельно-жидкое, а прочія суть тѣла твердыя.

Обозрѣніе металлоидовъ. Кислородъ.

§ 228. Разсмотримъ теперь металлоиды.

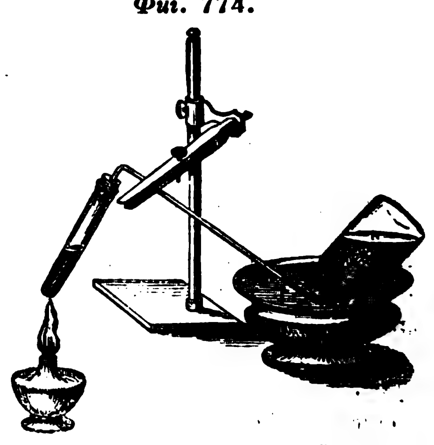
Кислородъ въ первый разъ полученъ былъ въ 1774 году Пристлеемъ и Шеле, а Лавуазье призналъ его за простое тѣло. Названіе свое онъ получилъ вслѣдствіе стариннаго мнѣнія, что всѣ тѣла кислыхъ свойствъ одолжены этимъ качествомъ кислороду. Кислородъ распространенъ въ природѣ въ весьма большомъ количествѣ: онъ входитъ въ составъ воды, составляетъ существенную часть атмосфернаго воздуха, почти всѣ минеральныя вещества содержатъ въ своемъ составѣ кислородъ, такъ что можно предположить, что кислородъ составляетъ около $^1/_3$ части, по вѣсу, всей земной коры.

Кислородъ есть газъ нѣсколько тяжелѣе атмосфернаго воздуха, прозраченъ, не имѣетъ ни цвѣта, ни запаха, ни вкуса; самъ не горитъ, но въ сильной степени поддерживаетъ горѣніе и дыханіе, почему даже его называли *жизненнымъ* газомъ, такъ что горѣніе и дыханіе возможны въ атмосферномъ воздухѣ только потому, что онъ содержитъ въ себѣ кислородъ. Погасшая, но еще тлѣющая лучинка, въ кислородѣ снова загарается и горитъ яркимъ пламенемъ; стальная пружина быстро сгараетъ, разбрасывая около себя яркія искры (фиг. 773); фосфоръ горитъ съ нестерпимо-яркимъ для глазъ блескомъ.

Фиг. 773.



Фиг. 774.



Всего легче можно добыть кислородъ, въ чистомъ видѣ, изъ краснаго порошка, извѣстнаго подъ именемъ *красной ртутной окиси*, и

состоящаго изъ кислорода и ртути. Обыкновенно берутъ продолговатый и не слишкомъ узкій стеклянный стаканчикъ (фиг. 774), въ который, положимъ, всыпано 109 грановъ красной ртутной окиси. Стаканчикъ затыкаютъ пробкою, въ которую вставляется однимъ концемъ изогнутая стеклянная трубка, погруженная другимъ концемъ въ чашку съ водою. Съ помощію проволоки, или особеннаго рода деревянныхъ щипцовъ, устанавливаютъ трубку въ положеніи, показанномъ на чертежѣ. Послѣ того нагрѣваютъ стаканчикъ на спиртовой лампѣ до тѣхъ поръ, пока не изчезнетъ вся ртутная окись. Ртутная окись при нагрѣваніи мало по малу чернѣетъ, между тѣмъ какъ изъ открытаго конца стеклянной трубки начинаютъ показываться пузырьки газа, которые первоначально суть ни что иное, какъ нагрѣтый въ стаканчикѣ воздухъ. Чтобы узнать, когда дѣйствительно начнутъ отдѣляться пузырьки кислорода, надъ отверстіемъ газоотводной трубки, нѣсколько выходящемъ изъ воды, надобно держать тлѣющую лучинку, которая при появленіи кислорода тотчасъ вспыхнетъ. Тогда опускаютъ конецъ трубки въ воду и ставятъ надъ нимъ опрокинутую стклянку съ водою. Вода въ стклянкѣ остается до тѣхъ поръ, пока не взойдутъ въ нее пузырьки кислорода, которые, проходя черезъ воду, подымаются кверху. Когда вся вода выйдетъ изъ стклянки, то стклянку закупориваютъ пробкою и снимаютъ. Потомъ ставятъ другую стклянку, третью и т. д. до тѣхъ поръ, пока не прекратится отдѣленіе газа.

Верхняя часть стаканчика покрывается блестящимъ металлическимъ слоемъ, который есть ни что иное, какъ ртуть — другая составная часть ртутной окиси. Если по окончаніи опыта, т. е. тогда, когда вся ртутная окись изчезла, собрать осторожно ртуть опушкою пера, то мы получили бы ртути 101 гранъ, а кислорода 8 грановъ.

Если хотятъ сохранить кислородъ въ сосудѣ, напр. въ бутылкѣ, то бутылку крѣпко закупориваютъ и опрокидываютъ вверхъ дномъ.

Доказать присутствіе кислорода въ атмосферномъ воздухѣ очень легко, не только качественнымъ, но и количественнымъ образомъ. Стоитъ только налить въ большое блюдо воды и положить на воду пробочный кружокъ, на которомъ укрѣпленъ небольшой огарокъ восковой свѣчи. Если покрыть свѣчу небольшимъ стекляннымъ колоколомъ, имѣющимъ на поверхности своей дѣленія, и погружать его открытымъ концемъ въ воду, то мы увидимъ, что воздухъ, находящійся подъ колоколомъ, заставитъ понизиться поверхность заключенной въ немъ воды вмѣстѣ со свѣчею. Продолжая этотъ опытъ, мы увидимъ, что свѣча будетъ горѣть въ теченіе нѣсколькихъ минутъ; послѣ чего блескъ ея начнетъ постепенно слабѣть и, наконецъ, спустя нѣкоторое время, свѣча погаснетъ совершенно. Если мы потихоньку будемъ поднимать

Фиг. 775.



колоколъ кверху, то увидимъ, что вода взойдетъ въ него и займетъ одну пятую часть его объема. Такимъ образомъ мы видимъ, что въ воздухѣ находятся два газа, изъ которыхъ одинъ поддерживаетъ горѣніе, а другой препятствуетъ ему; первый изъ этихъ газовъ и есть кислородъ, а второй азотъ. Изъ этого же опыта видно, что кислородъ составляетъ одну пятую часть, по объему, атмосфернаго воздуха, а азотъ четыре пятыхъ. Если, вмѣсто свѣчи, покроемъ колоколомъ какое нибудь маленькое животное, то увидимъ, что оно по истеченіи нѣкотораго времени задохнется; слѣд. кислородъ, составляющій необходимое условіе для горѣнія, служитъ также и для поддержанія дыханія животныхъ.

Скажемъ теперь нѣсколько словъ о самомъ процессѣ горѣнія.

Весьма долгое время объ горѣніи существовали самыя неудовлетворительныя и неясныя понятія.

До конца прошедшаго столѣтія полагали, что всякое горючее тѣло содержитъ въ себѣ особенное, неполучаемое въ отдѣльномъ состояніи, вещество *флогистонъ*, которое и отдѣляется изъ него при горѣніи; такимъ образомъ сѣра и фосфоръ состоятъ изъ сѣрной и фосфорной кислотъ и кромѣ того изъ флогистона; металлы суть известковыя тѣла (по нашему окиси) въ соединеніи съ флогистономъ, который сообщаетъ имъ блескъ и твердость. Если продуктъ, полученный при горѣніи металла, накаливать съ углемъ, то изъ послѣдняго переходитъ флогистонъ къ первому и снова получается металлъ.

Теорія эта вполнѣ удовлетворительна, если не обращать вниманія на вѣсъ сожигаемаго тѣла до горѣнія и послѣ него. Такъ напр. при горѣніи металла получается тѣло, которое вѣситъ болѣе сгорѣвшаго металла, чего уже нельзя согласить съ отдѣленіемъ флогистона. Въ 1792 году Лавуазье доказалъ, что при горѣніи сгорающее тѣло соединяется съ одною изъ составныхъ частей воздуха, и посредствомъ точнаго взвѣшиванія показалъ, что вѣсъ тѣла при этомъ увеличивается на столько, сколько теряетъ воздухъ въ своемъ вѣсѣ. Другая же часть атмосфернаго воздуха не принимаетъ никакого участія при горѣніи. Когда въ 1794 году Англичанинъ Пристлей добылъ кислородъ въ отдѣльномъ видѣ, то Лавуазье, сожигая въ немъ различныя тѣла, ясно увидѣлъ, что это и есть тотъ самый газъ, который соединяется при горѣніи съ горящими тѣлами. Поэтому Лавуазье и назвалъ сперва этотъ газъ *огненнымъ воздухомъ*, а когда увидѣлъ, что онъ входитъ въ составъ почти всѣхъ кислыхъ тѣлъ— *кислородомъ*.

Водородъ. *Водородъ* открытъ въ концѣ XVII ст.; свойства его въ первый разъ описаны въ 1776 г. Кавендишемъ; онъ получилъ свое названіе отъ того, что входитъ въ составъ воды. Водородъ есть самый легчайшій изъ всѣхъ газовъ (въ $14^1/_2$ разъ легче воздуха), и потому употребляется для наполненія аэростатовъ; не имѣетъ ни цвѣта, ни вкуса, ни запаха, не поддерживаетъ ни дыханія, ни горѣнія, но самъ воспламеняется и горитъ слабымъ пламенемъ, развивающимъ апро-

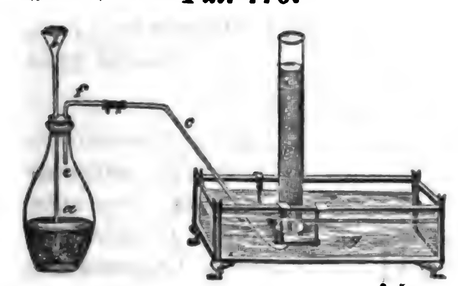
чемъ значительное количество теплоты. Въ смѣшеніи съ кислородомъ даетъ газъ *(гремучій газъ)*, воспламеняющійся съ сильнымъ взрывомъ; взрывъ бываетъ въ особенности силенъ, если смѣсь содержитъ въ себѣ на 2 ч. водорода 1 ч. кислорода.

Водородъ обыкновенно добываютъ изъ воды, отнимая у сей последней кислородъ какимъ нибудь металломъ, легко соединяющимся съ кислородомъ, лучше всего желѣзомъ или цинкомъ въ присутствіи сѣрной кислоты, состоящей изъ одного пая сѣры и трехъ паевъ кислорода. При этомъ кислородъ воды даетъ съ металломъ соединеніе, которое въ свою очередь соединяется съ сѣрною кислотою и даетъ желѣзный или цинковый купоросъ, а водородъ отдѣляется.

Вода . . . { водородъ.
кислородъ. . . } окись цинка. . } сѣрнокислая окись цинка.
цинкъ. . . . .
сѣрная кислота . . . .

Для добыванія употребляется приборъ, изображенный на фиг. 776. Онъ состоитъ изъ колбы, горлышко которой заткнуто пробкою съ 2-мя отверстіями; чрезъ одно проходитъ воронка *a*, чрезъ другое изогнутая газопроводная трубка. Въ колбу кладутъ желѣзо или цинкъ и наливаютъ воды, а чрезъ воронку, по мѣрѣ надобности, приливаютъ сѣрную кислоту; тогда водородъ проходитъ чрезъ газопроводную трубку въ пневматическую ванну и оттуда въ пріемникъ. Водородъ съ кислородомъ образуетъ воду и входитъ въ составъ животныхъ и растеній.

Фиг. 776.



Азотъ въ 1-й разъ добытъ въ 1772 году Рутерфордомъ и получилъ свое названіе отъ неспособности поддерживать дыханіе животныхъ. Онъ немного легче атмосфернаго воздуха, не имѣетъ ни цвѣта, ни запаха, ни вкуса, не поддерживаетъ ни дыханія, ни горѣнія и самъ не горитъ. Азотъ.

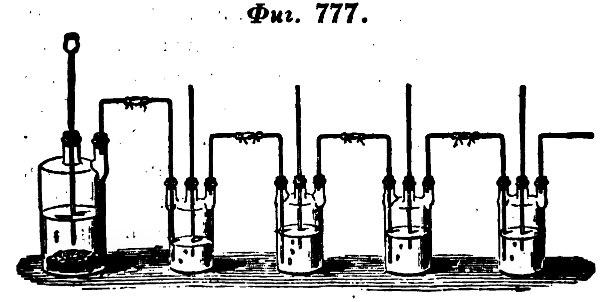
Азотъ можно получить въ отдѣльномъ видѣ изъ атмосфернаго воздуха; для этого стоитъ только пропустить струю атмосфернаго воздуха чрезъ накаленную трубку, въ которой лежатъ мѣдныя опилки. При этомъ мѣдь соединяется съ кислородомъ воздуха и переходитъ въ окись мѣди; изъ трубки отдѣляется азотъ.

Если тщательно опредѣлить въ предъидущемъ опытѣ вѣсъ азота и вѣсъ кислорода, соединившагося съ мѣдью, то можно опредѣлить, сколько въ атмосферномъ воздухѣ находится кислорода и азота. Такимъ образомъ найдено, что во 100 ч. атмосфернаго воздуха находится по объему 79,1 ч. азота и 20,9 ч. кислорода.

Хлоръ. *Хлоръ* открытъ въ 1774 году Шееле, но долгое время считался сложнымъ тѣломъ: его принимали за окисль неизвѣстнаго въ отдѣльномъ видѣ простаго тѣла мурія. Только въ 1809 году Деви доказалъ, что хлоръ есть тѣло простое и далъ ему настоящее названіе по его желтозеленому цвѣту (χλωρός, желто-зеленый); хлоръ не встрѣчается никогда въ природѣ въ чистомъ видѣ, но очень часто въ соединеніяхъ. Самое распространенное хлористое соединеніе есть поваренная соль (соединеніе хлора съ натріемъ). При обыкновенной температурѣ хлоръ имѣетъ видъ газа зеленоватожелтаго цвѣта; плотность его почти въ $2^1/_2$ больше плотности атмосфернаго воздуха. Хлоръ имѣетъ непріятный запахъ, при вдыханіи производитъ кашель и воспаленіе въ груди; самъ не горитъ, но нѣкоторыя тѣла въ немъ горятъ; если порошекъ сурьмы сыпать въ колбу, наполняемую хлоромъ, то сюрьма загорается и падаетъ въ видѣ огненнаго дождя. Вода поглощаетъ хлоръ, принимая при этомъ свѣтлозеленый цвѣтъ и запахъ хлора.

Хлорная вода обезцвѣчиваетъ большую часть органическихъ красокъ и потому употребляется какъ средство для бѣленія матерій. Кромѣ того хлоръ употребляется для уничтоженія міазмъ, распространенныхъ въ воздухѣ во время заразъ. Этими свойствами хлоръ одолженъ большему сродству своему къ водороду. При низкой температурѣ хлоръ переходитъ въ жидкое состояніе.

Фиг. 777.



Хлоръ обыкновенно добываютъ, обливая въ колбѣ перекись марганца соляною кислотою. Соляная кислота состоитъ изъ водорода и хлора, а перекись марганца изъ марганца и кислорода. Водородъ кислоты соединяется съ кислородомъ перекиси и образуетъ такимъ образомъ воду, а хлоръ кислоты частію соединяется съ марганцемъ, а частію переходитъ въ пріемникъ.

2 пая соляной кислоты.	1 хлора		1 хлора.
	1 хлора . . .	хлор. марган.	
	2 водорода.		2 воды.
марганцевая перекись.	1 марганца .	хлор. марган.	
	2 кислорода.		2 воды.

Бромъ. *Бромъ*, открытый въ 1826 году, есть жидкость краснокоричневаго цвѣта и весьма непріятнаго запаха (βρωμός — вонючій), тяжелѣе воды и при обыкновенной температурѣ отдѣляетъ краснобурые пары. Въ свободномъ состояніи въ природѣ никогда не встрѣчается, но обыкновенно въ соединеніи съ металлами, въ морской водѣ; его соединенія находятся въ значительномъ количествѣ также у насъ въ старорусскихъ водахъ.

Подобно хлору бромъ образуетъ съ кислородомъ кислоты, съ металлами — галоидныя соли.

Іодъ открытъ въ 1812 году парижскимъ фабрикантомъ Куртуа, въ золѣ морскихъ растеній, а изслѣдованъ былъ въ первый разъ Гэ-Люссакомъ. Іодъ есть тѣло твердое, чешуйчатовидное, похожее на графитъ; на кожѣ производитъ желтое пятно; отличается особеннымъ запахомъ, похожимъ на запахъ хлора. Іодъ легко растворяется въ спиртѣ и въ тепломъ мѣстѣ даетъ пары красиваго фіолетоваго цвѣта (ἰώδης — фіолетовый), откуда и получилъ свое названіе. Іодъ.

Характеристическая особенность этого тѣла состоитъ въ его способности окрашивать крахмалъ въ синій цвѣтъ. Такимъ образомъ крахмалъ можетъ служить прекраснымъ средствомъ для открытія присутствія іода даже въ такихъ растворахъ, которые содержатъ въ себѣ не болѣе 0,000001 ч. іода. Соединенія его сходны съ соединеніями хлора и брома.

Фторъ распространенъ въ природѣ въ довольно значительномъ количествѣ, особенно въ плавиковомъ шпатѣ, гдѣ онъ соединенъ съ кальціемъ. Кромѣ того онъ находится въ костяхъ животныхъ, особенно въ эмали зубовъ. Получить его въ чистомъ видѣ чрезвычайно трудно, потому что онъ дѣйствуетъ разрушительно на всѣ тѣ вещества, изъ которыхъ обыкновенно приготовляютъ химическіе приборы. Фторъ.

Сѣра — давно извѣстное желтое, твердое горючее вещество, не имѣетъ ни вкуса, ни запаха и не растворяется въ водѣ; въ расплавленномъ состояніи отдѣляетъ удушливые пары. Передъ точкою кипѣнія переходитъ въ тягучее, тѣстообразное вещество темнобураго цвѣта, которое при высшей температурѣ снова дѣлается жидкимъ. Если расплавленную сѣру вылить въ холодную воду, то она принимаетъ видъ бурой, мягкой массы, которая долго не твердѣетъ; въ этомъ видѣ ее употребляютъ для снятія оттисковъ медалей, монетъ и проч. Сѣра.

Сѣра находится въ природѣ въ большомъ количествѣ, нерѣдко совершенно чистая, а иногда въ соединеніи съ металлами, въ видѣ рудъ или въ видѣ купоросовъ. Даже животныя вещества, напр. желчь, содержатъ сѣру. Самородную сѣру очищаютъ перегонкою.

Селенъ. Тѣло это встрѣчается въ природѣ преимущественно въ соединеніи со свинцомъ. Селенъ открытъ въ 1818 году Берцеліусомъ, имѣетъ темнобурый цвѣтъ, слабо металлическій блескъ и легко распадается въ порошокъ. При нагрѣваніи онъ плавится и наконецъ кипитъ. Пары его темножелтаго цвѣта. Селенъ.

Фосфоръ открытъ въ 1669 году Брандтомъ и получилъ свое названіе отъ способности свѣтиться въ потьмахъ. Въ чистомъ видѣ въ природѣ его не находятъ, но въ соляхъ значительно распространенъ; наиболѣе же онъ заключается въ сѣмянахъ растеній и костяхъ животныхъ. Фосфоръ бѣлаго цвѣта, немного желтоватъ, твердостью похожъ на воскъ; имѣетъ жирный блескъ, въ водѣ не растворяется, но только въ спиртѣ и эѳирныхъ маслахъ, легко плавится и заго- Фосфоръ.



рается. При обыкновенной температурѣ на воздухѣ фосфоръ отдѣляетъ бѣлые, и въ темнотѣ блестящіе пары. Его сохраняютъ обыкновенно подъ водою и если онъ долго стоитъ на свѣтѣ, то изъ бѣлаго становится краснымъ и плавится уже гораздо труднѣе. Около 60° Цельзія воспламеняется и горитъ свѣтлымъ, бѣлымъ пламенемъ, превращаясь при этомъ въ фосфорную кислоту. Точно также воспламеняется при треніи объ жесткія поверхности, на чемъ основано употребленіе его для зажигательныхъ спичекъ.

Для приготовленія ихъ погружаютъ деревянныя спички сперва въ сѣру, а потомъ въ смѣсь, состоящую изъ фосфора, гумми арабика, селитры и киновари; послѣднее вещество, служащее собственно для окрашенія, можетъ быть замѣнено берлинской лазурью. Фосфоръ принадлежитъ къ сильнѣйшимъ ядамъ и даже въ незначительныхъ пріемахъ смертеленъ.

Фосфоръ добываютъ изъ кислой фосфорнокислой извести; известь накаливаютъ вмѣстѣ съ углемъ, при чемъ углеродъ соединяется съ кислородомъ, а фосфоръ отдѣляется въ видѣ паровъ и сгущается въ пріемникѣ подъ водою. Расплавленный фосфоръ разливаютъ въ стеклянныя трубочки и такимъ образомъ получается фосфоръ въ видѣ палочекъ. Фосфоръ соединяется съ большею частію простыхъ тѣлъ.

Углеродъ. *Углеродъ* извѣстенъ съ незапамятныхъ временъ и въ природѣ по большей части находится въ соединеніи съ другими тѣлами во многихъ ископаемыхъ, во всѣхъ растительныхъ и животныхъ тѣлахъ.

Углеродъ есть тѣло твердое, безъ вкуса и запаха, горитъ, не растворяется ни въ какой жидкости. Въ самомъ чистомъ состояніи углеродъ находится въ природѣ въ видѣ алмаза, менѣе чистый въ видѣ графита и каменнаго угля.

Въ ископаемомъ и древесномъ углѣ углеродъ находится въ соединеніи съ кислородомъ и водородомъ; въ животныхъ же и растительныхъ тѣлахъ углеродъ кромѣ того соединенъ съ азотомъ. Всѣ эти тѣла заключаютъ также примѣсь различныхъ другихъ, въ особенности минеральныхъ веществъ, которыя при горѣніи образуютъ остатокъ, извѣстный подъ названіемъ золы.

Углеродъ можетъ служить намъ примѣромъ того, что одно и тоже тѣло представляется въ различныхъ состояніяхъ, обладая въ каждомъ изъ нихъ особенными свойствами. Такъ напр. въ алмазѣ углеродъ появляется прозрачнымъ, правильно окристаллованнымъ тѣломъ; въ графитѣ углеродъ непрозраченъ, имѣетъ металлическій блескъ и даетъ мелкіе кристаллы; въ различныхъ родахъ угля онъ появляется непрозрачнымъ чернымъ тѣломъ, не имѣющимъ кристаллической формы. Это свойство, обнаруживаемое нѣкоторыми простыми и многими сложными тѣлами, называется *аллотропіей*.

Если древесный или ископаемый уголь подвергнуть дѣйствію жара въ запертомъ пространствѣ, то отъ нихъ отдѣляются газообразныя

составныя части водородъ и кислородъ. Каменный уголь, подвергнутый такому процессу, извѣстенъ подъ названіемъ *кокса*.

Уголь, приготовленный изъ животныхъ и растительныхъ веществъ, обладаетъ, какъ мы уже говорили выше, свойствомъ поглощать въ свои поры газы и сгущать ихъ тамъ (въ особенности свѣжеприготовленный уголь). Онъ имѣетъ также свойство вбирать въ себя изъ жидкостей красящія вещества и тѣла, обладающія запахомъ. Свойство это принадлежитъ животному углю еще въ большей степени, нежели растительному.

Поэтому употребляютъ уголь, приготовленный изъ крови и костей животныхъ, для очищенія и обезцвѣчиванія сахара, для очищенія уксуса, водки и т. п.

Какъ уголь предохраняетъ отъ гніенія, то обыкновенно обжигаютъ тѣ части столбовъ, которыя вкапываются въ землю. Точно также обугливаются внутреннія части бочекъ, назначенныхъ для сохраненія воды въ морскихъ путешествіяхъ.

Уголь обладаетъ значительнымъ сродствомъ къ кислороду и превосходитъ въ этомъ отношеніи, въ особенности при возвышенной температурѣ, другія тѣла. На этомъ основаніи уголь употребляется весьма часто для выдѣленія тѣлъ изъ соединеній ихъ съ кислородомъ, какъ напр. при добываніи металловъ, при полученіи калія, фосфора и др. тѣлъ.

Плотный уголь, какъ напр. коксъ принадлежитъ къ числу трудно сгараемыхъ тѣлъ; горѣніе его можетъ быть поддерживаемо только при помощи мѣховъ. Алмазъ сгараетъ въ кислородѣ, а въ атмосферномъ воздухѣ только при содѣйствіи значительнаго жара. Въ первый разъ сожжены были алмазы въ 1694 году во Флоренціи при посредствѣ сферическихъ зеркалъ, о которыхъ мы будемъ говорить впослѣдствіи. Пористый же уголь, добываемый изъ растительныхъ веществъ, загорается весьма легко.

Углеродъ составляетъ главнѣйшую часть матеріяловъ, употребляемыхъ для топки — дерева, торфа, каменнаго угля и др. Чѣмъ болѣе заключается въ нихъ углерода, тѣмъ и самая теплота, выдѣляемая ими, бываетъ значительнѣе. Дерево, въ сухомъ состояніи, заключаетъ въ себѣ меньшую половину углерода; остальная же половина состоитъ изъ кислорода и водорода, которые соединены здѣсь въ томъ же отношеніи какъ и въ водѣ. Кромѣ того дерево заключаетъ небольшую часть минеральныхъ веществъ. Какъ теплота, отдѣляющаяся при горѣніи, есть слѣдствіе соединенія частей дерева, не заключающихъ кислорода съ кислородомъ воздуха, то очевидно, что части дерева соединенныя съ кислородомъ, не могутъ содѣйствовать развитію теплоты и что слѣдовательно при горѣніи тѣло будетъ тѣмъ менѣе способствовать образованію теплоты, чѣмъ болѣе содержится въ немъ кислорода. Поэтому каменный уголь даетъ болѣе теплоты противу дерева, которое заключаетъ относительно болѣе противу перваго кислорода и менѣе углерода. Самое обугливаніе дерева производится съ цѣлію выдѣленія изъ него кислорода. Извѣстное количество дерева должно уже потому давать менѣе теплоты противу того же самаго количества древеснаго угля, что въ деревѣ заключается только меньшая половина углерода; а отчасти и отъ того, что большая часть теплоты, образовавшаяся при горѣніи дерева, употребляется на превращеніе въ паръ воды какъ заключавшейся въ деревѣ, такъ и образующейся при горѣніи.

Но должно замѣтить, что при обугливаніи дерева происходитъ также извѣстная потеря въ горючемъ матеріялѣ, потому что часть, заключающагося въ деревѣ водорода, удаляется не въ одномъ соединеніи съ кислородомъ въ видѣ водяныхъ паровъ, но частію также и въ соединеніи съ углеродомъ.

Кремній. *Кремній*, полученный въ первый разъ Берцеліусомъ въ 1824 году, составляетъ одну изъ наиболѣе распространенныхъ составныхъ частей извѣстной намъ коры земнаго шара. Онъ не встрѣчается впрочемъ нигдѣ въ природѣ въ чистомъ состояніи, но всегда въ соединеніи съ кислородомъ извѣстномъ подъ названіемъ кремневой кислоты. Добытый изъ ней чистый кремній образуетъ бурый порошокъ, который при нагрѣваніи въ воздухѣ загарается и превращается въ кремневую кислоту.

Боръ. *Боръ*, открытый Деви въ 1807 году, весьма мало распространенъ въ природѣ и встрѣчается преимущественно въ бурѣ. Добытый въ чистомъ видѣ онъ образуетъ зеленоватобурый порошокъ, который, при нагрѣваніи въ воздухѣ, загарается и даетъ борную кислоту.

Общія свойства химическ. соедин. § 229. Доселѣ мы разсматривали только въ отдѣльности металлоиды. Перейдемъ теперь къ различнымъ соединеніямъ ихъ, но прежде изложимъ общія свойства химическихъ соединеній.

Химическія соединенія состоятъ преимущественно изъ двухъ, трехъ или четырехъ и весьма рѣдко изъ большаго числа простыхъ тѣлъ. Большею частію простыя тѣла соединяются съ простыми, а сложныя со сложными; рѣже встрѣчаются соединенія простыхъ тѣлъ со сложными. Тѣла, состоящія изъ двухъ простыхъ тѣлъ, называютъ *парными соединеніями* или *соединеніями перваго порядка;* отъ химическаго соединенія тѣлъ перваго порядка происходятъ *соединенія втораго порядка* и т. д.

Наибольшее число соединеній относится къ первому и ко второму порядкамъ; соединенія третьяго порядка весьма немногочисленны.

Къ составнымъ тѣламъ перваго порядка принадлежатъ многія тѣла извѣстныя подъ названіемъ *кислотъ* и *основаній;* ко второму порядку относятся *соли*, происходящія отъ соединенія кислотъ съ основаніями.

Кислоты отличаются большею частію кислымъ вкусомъ; растворы ихъ въ водѣ имѣютъ свойство фіолетовыя растительныя цвѣта, какъ напр. лакмусовую тинктуру, фіалковой сиропъ и др. окрашивать краснымъ цвѣтомъ. Нѣкоторыя тѣла не растворяются въ водѣ, не измѣняютъ синяго цвѣта лакмуса въ красный, а между тѣмъ принадлежатъ къ кислотамъ, потому что онѣ соединяются съ основаніями; опытъ же показываетъ, что одно и тоже тѣло не можетъ произойти отъ соединенія двухъ одинаковаго свойства тѣлъ. Если два сложныя тѣла перваго порядка соединены между собою и мы захотѣли бы опредѣлить, какое тѣло занимаетъ въ соединеніи мѣсто кислоты, а какое мѣсто основанія, то должно привести это тѣло въ соединеніе съ какою нибудь сильною и уже извѣстною кислотою или съ какимъ нибудь сильнымъ основаніемъ. Когда тѣло приведено въ

соединеніе съ сильною кислотою, то она вытѣснитъ изъ соединенія слабѣйшую кислоту и само займетъ ея мѣсто; слѣдовательно выдѣлившееся тѣло есть кислота.

Основываясь на томъ, что только подобныя тѣла оказываютъ подобныя дѣйствія, мы можемъ вывести слѣдующее правило: въ тѣлѣ, состоящемъ изъ кислоты и основанія, кислота можетъ быть замѣнена только кислотою, а основаніе — основаніемъ.

Здѣсь должно замѣтить, что одно и тоже соединеніе перваго порядка въ одномъ тѣлѣ можетъ играть роль кислоты, а въ другомъ роль основанія. И при этомъ, въ случаѣ нерастворимости соединенія въ водѣ, должно сравнивать его съ кислотами и основаніями, свойства которыхъ хорошо извѣстны. Если соединеніе образуетъ соль съ извѣстнымъ уже основаніемъ, то значитъ, что оно принадлежитъ къ кислотѣ и на оборотъ.

Весьма часто для открытія свойствъ соединеній, прибѣгаютъ къ помощи электричества. Не входя въ подробности этого предмета, который будетъ нами развитъ впослѣдствіи, скажемъ здѣсь только, что съ помощію извѣстнаго прибора, называемаго гальваническою батареею, можно разлагать соединенія на простыя тѣла ихъ составляющія, въ томъ случаѣ, когда батарея сильна; при менѣе сильной батареѣ соединенія двухъ тѣлъ втораго порядка распадаются на кислоты и основанія, изъ которыхъ первыя отдѣляются на части батареи, называемой *анодомъ*, а вторыя на противоположной части, называемой *катодомъ*. И въ этомъ случаѣ можетъ повториться уже сказанное нами: одно и тоже тѣло изъ одной соли можетъ отдѣлиться на катодѣ, а изъ другой на анодѣ.

Многія кислоты происходятъ отъ соединенія кислорода съ металлоидами, которые принимаютъ въ этомъ случаѣ названіе *радикаловъ*, такъ напр. въ кислотѣ, состоящей изъ сѣры и кислорода и называемой сѣрною кислотою, радикалъ есть сѣра. Другія же кислоты, встрѣчаемыя преимущественно въ органическихъ тѣлахъ, суть соединенія кислорода со *сложнымъ радикаломъ*. Такъ напр. почти всѣ растительныя кислоты — уксусная кислота, лимонная кислота и др., состоятъ изъ кислорода и сложнаго радикала, состоящаго въ свою очередь изъ углерода и водорода. Кислоты, происшедшія отъ соединенія кислорода съ радикаломъ, называются собственно кислородными кислотами.

Многія кислородныя кислоты сохранили въ наукѣ тѣ названія, которыя усвоены имъ въ обыкновенной жизни; такъ напр. азотная кислота называется иногда селитряною, потому что она получается изъ селитры; сѣрную кислоту называютъ купоросным маслом, потому что она даетъ соли, называемыя купоросами, и имѣетъ нѣкоторое сходство съ масломъ.

Въ химіи же принято называть кислородныя кислоты слѣдующимъ образомъ.

Если радикалъ даетъ съ кислородомъ только одну кислоту, то названіе радикала обыкновенно превращается въ прилагательное и ставится возлѣ него слово кислота, такъ напр., желая означить кислоту, происшедшую отъ соединенія бора съ кислородомъ, говорятъ — борная кислота.

Если же радикалъ даетъ съ кислородомъ двѣ или три кислоты, то кислота, заключающая большее количество кислорода, получаетъ названіе согласно пра-

виду, изложенному нами выше, т. е. радикалъ превращается въ прилагательное и за нимъ ставится слово кислота, такъ напр. при кислотахъ, образуемыхъ азотомъ съ кислородомъ, соединеніе, заключающее высшую степень кислорода, называется азотной кислотой NO_5, а для соединеній низшихъ степеней NO_4 и NO_3 измѣняютъ окончанія прилагательныхъ, такъ напр. первую изъ послѣднихъ называютъ азот*новатою* кислотою (NO_4), а послѣднюю азо*тистою* кислотою (NO_3).

Кислородная кислота можетъ образовать соль съ какимъ нибудь металломъ только въ томъ случаѣ, когда образуетъ соединеніе съ кислородомъ, что достигается различнымъ образомъ: или разлагается часть кислоты и кислородъ ея соединяется съ металломъ, или послѣдній извлекаетъ кислородъ у третьяго тѣла, находящагося въ соединеніи съ кислотою (обыкновенно у воды).

Нѣкоторыя кислоты происходятъ отъ соединенія водорода съ другими простыми и сложными тѣлами. Такія кислоты называются *водородными*. При наименованіи этихъ кислотъ, за названіемъ радикала, слѣдуютъ обыкновенно слова: водородная кислота, напр. хлористо-водородная, называемая обыкновенно соляною, потому что она получается изъ соли.

Водородныя кислоты во многомъ сходны съ кислородными, но при образованіи солей съ окислами металловъ, обладаютъ слѣдующимъ свойствомъ. Если привести въ соединеніе водородную кислоту съ окисломъ металла, то радикалъ кислоты соединяется съ металломъ, а водородъ кислоты съ кислородомъ металла даетъ воду. Соединеніе радикала кислоты съ металломъ есть соль, изъ которой нагрѣваніемъ можетъ быть удалена вода.

Сѣра относится къ другимъ тѣламъ точно также, какъ кислородъ и водородъ, и потому даетъ кислоты подобно имъ

Основанія представляютъ уже менѣе сходственныхъ признаковъ. Они отличаются отъ кислотъ, съ которыми легко соединяются для образованія солей, меньшимъ содержаніемъ кислорода и особеннымъ дѣйствіемъ своимъ на растительныя цвѣта. На бумажку, окрашенную лакмусомъ, основанія не дѣйствуютъ; но если лакмусовая бумажка отъ кислоты уже измѣнила свой цвѣтъ въ красный, то при дѣйствіи основанія, снова принимаетъ фіолетовый цвѣтъ Желтыя бумажки, окрашенныя корнемъ куркумы, отъ основанія измѣняютъ свой цвѣтъ въ коричневый.

Основанія возстановляютъ цвѣта, измѣненные дѣйствіемъ кислотъ. Основанія, нерастворимыя въ водѣ и поэтому не дѣйствующія на лакмусовую бумажку, можно отличить отъ кислотъ точно также, какъ это дѣлается съ подобными кислотами и о чемъ мы уже говорили прежде, т. е. надобно прибавить къ соединенію такого основанія, съ другимъ окисломъ, какого нибудь сильнаго основанія, каковы кали и натръ; выдѣлившееся тѣло будетъ основаніе.

Большая часть основаній принадлежитъ соединенію металловъ съ кислородомъ.

Если тѣло, соединяющееся съ кислородомъ, даетъ только одно основаніе, то послѣднее называютъ *окисью*; если же два, то одно называется окисью, а другое, содержащее менѣе кислорода, называется *закисью*, такъ наприм. существуютъ закись желѣза (FeO) и окись желѣза (Fe_2O_3). Есть такіе окислы, которые соединяясь съ кислотою

для образованія соли, отдѣляютъ при этомъ часть своего кислорода; есть напротивъ и такіе, которые при соединеніи съ кислотою принимаютъ въ себя кислородъ. Первые окислы называются *перекисями*, напр. перекись марганца (MnO_2), а вторые—*недокисями*.

Тѣло, образовавшее основаніе, отъ соединенія своего съ кислородомъ, называется *радикаломъ основанія*.

Основанія получаются также отъ соединенія сѣры съ металлическими радикалами.

Водородъ въ соединеніи съ азотомъ даетъ сильное основаніе, извѣстное подъ названіемъ *амміака* (NH_3).

Соли, какъ мы уже сказали, суть соединенія кислотъ съ основаніями. Какъ, за небольшимъ исключеніемъ, каждая кислота съ основаніемъ и, на оборотъ, каждое основаніе съ кислотою, можетъ образовать соль, то число солей значительно.

Соли суть тѣла твердыя, имѣющія свой особенный вкусъ; нѣкоторыя изъ нихъ растворимы въ водѣ, но растворимость соли не зависитъ ни отъ свойствъ кислоты, ни отъ свойствъ основанія.

Нѣкоторыя соли, по частому своему употребленію, сохранили народныя названія и въ наукѣ; такъ напр. сѣрнокислыя соли желѣза и мѣди называются желѣзнымъ и мѣднымъ купоросами и т. д.

Одна и таже кислота можетъ образовать съ однимъ и тѣмъ же основаніемъ нѣсколько солей, различающихся между собою только количествомъ кислоты или основанія. Такія соли дѣлятъ на *среднія*, *кислыя* и *основныя*.

Если въ соли находится значительно большее количество кислоты противу основанія, то ясно, что послѣднее не въ состояніи уничтожить дѣйствія сильной кислоты; точно также, какъ дѣйствіе сильнаго основанія не можетъ быть уничтожено слабою кислотою. Поэтому дѣйствіе соли на окрашенные реактивы (лакмусъ, куркумъ), зависитъ отъ относительной силы кислоты и основанія, составляющихъ ее. Но есть и такія соли, въ которыхъ дѣйствія кислоты и основанія взаимно уравниваются; такія соли, относительно окрашенныхъ реактивовъ, называются *средними*. Соль, содержащую на одно и тоже количество основанія больше кислоты противу средней, принято называть *кислою;* туже соль, въ которой на одно и тоже количество кислоты заключается больше основанія противу средней, принимаютъ за *основную*.

Кромѣ того дѣлятъ соли на *амфидныя* и *галоидныя*. Первыя соли состоятъ изъ соединеній кислоты съ основаніемъ; а ко второму разряду относятся соединенія хлора, брома, іода и фтора съ металлами; слѣдовательно соли эти относятся къ соединеніямъ перваго рода. Четыре тѣла, дающія галоидныя соли, называются *галоидами*, т. е. тѣлами, образующими соли (ἅλς значитъ соль). Обыкновенная поваренная соль есть соль галоидная и происходитъ отъ соединенія хлора съ натріемъ. Къ галоиднымъ же солямъ относятся хлористый кальцій, юдистый калій, іодистый натрій и др.



Соединеніе двухъ амміачныхъ или кислородныхъ солей называется *двойною солью:* такъ наприм. квасцы есть двойная соль.

Обозрѣніе важнѣйш. химич. соединеній. § 230. Перейдемъ теперь къ частному разсмотрѣнію главнѣйшихъ соединеній и начнемъ съ воды, какъ соединенія, которое въ иныхъ тѣлахъ играетъ роль кислоты, а въ другихъ роль основанія.

Водородъ соединяется въ двухъ пропорціяхъ съ кислородомъ: низшая степень его соединенія есть *вода*, а высшая *перекись водорода*. Что вода состоитъ изъ водорода и кислорода, въ этомъ легче всего можно убѣдиться, пропуская струю водороднаго газа въ трубку съ накаленною окисью мѣди. Водородъ соединяется здѣсь съ кислородомъ окиси мѣди и превращается въ воду, а въ остаткѣ получается металлическая мѣдь. Образовавшуюся такимъ образомъ воду можно собрать и взвѣсить. Разность, между вѣсомъ взятой для опыта окиси мѣди и вѣсомъ оставшагося металла, покажетъ намъ вѣсъ кислорода, вошедшаго въ составъ воды. Вычитая изъ вѣса полученной воды вѣсъ заключающагося въ ней кислорода, получимъ вѣсъ вошедшаго въ составъ воды водорода. Такимъ образомъ найдено, что во 100 частяхъ воды содержится: по вѣсу — 88,89 ч. кислорода и 11,11 ч. водорода; по объему — 1 ч. кислорода и 2 ч. водорода.

Чистая вода есть тѣло прозрачное, безъ вкуса и запаха; если каплю чистой воды нагрѣвать на платиновой пластинкѣ, то она, испарившись, не оставитъ послѣ себя никакого слѣда; она легко растворяетъ многія вещества и поглощаетъ многіе газы. Дождевая вода содержитъ нѣсколько углекислоты, и послѣ паденія на землю, еще болѣе поглощаетъ углекислоты изъ растительныхъ остатковъ, образующейся при гніеніи растеній. Такимъ образомъ вода, поглотивъ углекислоту, проходитъ съ поверхности земной внутрь земли и потомъ выходитъ снова на поверхность земную въ видѣ ключей; вотъ почему ключевая вода всегда содержитъ въ себѣ значительное количество углекислоты.

Встрѣчая на пути своемъ известь, углекислая вода растворяетъ ее; кромѣ того она отчасти растворяетъ гипсъ и нѣкоторыя другія вещества и потомъ уже снова выходитъ на земную поверхность. Ключевая вода, содержащая въ значительномъ количествѣ известь и гипсъ, называется *жесткою* водою; свободная же отъ этихъ тѣлъ, или заключающая ихъ въ себѣ въ весьма маломъ количествѣ — *мягкою* водою.

Жесткая вода составляетъ пріятное питье своимъ прохлаждающимъ вкусомъ, но для стирки бѣлья не годится, потому что известь, соединяясь съ жирными частицами мыла, даетъ нерастворимое мыло, которое плаваетъ въ водѣ въ видѣ клочьевъ. Точно также она неудобна для варки кушанья и чая, потому что при кипяченіи углекислая известь изъ воды выдѣляется и слѣдовательно известь уже не будетъ въ растворѣ, а начнетъ осѣдать на стѣнки сосудовъ. Это обстоятельство должны имѣть въ видѣ всѣ завѣдывающіе паровыми машинами. Если для дѣйствія паровой машины употребляется же-

стная вода, то на стѣнкахъ пароваго котла образуется известковый слой, который, при достаточной толщинѣ, совершенно отдѣлитъ воду отъ стѣнокъ котла и поэтому нужно будетъ сильнѣе нагрѣвать котелъ для полученія паровъ такой же упругости, которой они прежде достигали при слабѣйшемъ нагрѣваніи. Если теперь отъ возвышенія температуры, котелъ сильно увеличится въ своемъ объемѣ, тогда слой извести внутри котла разорвется, вода придетъ въ непосредственное соприкосновеніе съ котломъ, начнетъ испаряться болѣе надлежащаго и котелъ можетъ лопнуть. Прибавляя въ воду крахмала, солода, сиропа, вообще вещества, приводящаго воду въ слизистое состояніе, мы тѣмъ самымъ будемъ препятствовать образованію осадка.

Дождевая и снѣговая вода принадлежатъ къ числу мягкихъ водъ; ключевая вода, находясь нѣсколько времени въ прикосновеніи съ атмосфернымъ воздухомъ, теряетъ часть углекислоты, известь садится на дно ключа и вода мало по малу превращается въ мягкую.

Самая чистая вода есть дождевая, падающая въ мартѣ или апрѣлѣ, когда воздухъ не слишкомъ наполненъ испареніями, но и она, какъ мы видѣли, содержитъ въ себѣ углекислоту. Для освобожденія воды отъ примѣсей подвергаютъ ее перегонкѣ или дистиллированію. Если вода очень богата содержаніемъ какихъ нибудь солей, то ее называютъ *минеральною водою*.

Со многими тѣлами вода соединяется въ опредѣленной пропорціи и образуетъ съ ними настоящія химическія соединенія такъ называемые *гидраты*, по свойствамъ своимъ совершенно отличныя отъ воды и отъ даннаго тѣла. Такъ напр. безводная окись мѣди чернаго цвѣта; напротивъ *водная окись мѣди* имѣетъ красивый синій.

Органическія вещества разлагаются въ водѣ большею частію и сообщаютъ послѣдней непріятный вкусъ и запахъ. Это даже замѣтно тогда, если вода сохраняется въ только что сдѣланной деревянной посудѣ; если она стоитъ въ довольно тепломъ мѣстѣ, то нѣкоторыя части дерева, разлагаясь, сообщаютъ водѣ непріятный вкусъ. Поэтому часто деревянныя кружки смолятъ, бочки внутри обжигаютъ; второе особенно тѣмъ полезно, что уголь не только не разлагается, но еще вбираетъ въ себя различные органическіе остатки. Въ желѣзныхъ сосудахъ вода сохраняется также хорошо, какъ и въ обугленныхъ. Если разложеніе органическаго вещества въ водѣ совершенно окончилось и осадокъ сѣлъ на дно, тогда вода становится годною для употребленія. Для очищенія воды отъ постороннихъ частицъ и отъ органическихъ остатковъ, пропускаютъ ее чрезъ мелкій песокъ и уголь; тогда первыя частицы остаются между песчинками, а вторыя всасываются углемъ.

Разсмотримъ теперь важнѣйшія *кислородныя кислоты*, происходящія отъ соединенія кислорода съ *азотомъ*, *сѣрою*, *углеродомъ*, *фосфоромъ* и *кремніемъ*. Между кислотами, происходящими отъ соединенія кислорода съ азотомъ, наиболѣе замѣчательна *азотная кислота* ($NO_5.HO$). Кислота эта получается отъ обливанія селитры (азотнокислаго кали) сѣрною Азотная кислота.



кислотою, которая соединяясь съ кали, выдѣляетъ азотную кислоту. Кислота эта на вкусъ весьма кисла и обладаетъ непріятнымъ запахомъ; она сгущаетъ водяные пары воздуха, находящагося въ прикосновеніи съ нею и поглощаетъ ихъ въ себя, отдѣляя при этомъ извѣстное количество теплоты: вотъ почему кислота эта, выставленная на воздухъ, всегда кажется покрытою туманомъ. Она отличается отъ другихъ кислотъ своею способностію сообщать животной кожѣ, шелку, шерсти, перьямъ, рогу, дереву и раствору индиго прочную желтую краску. На этомъ основаніи употребляютъ азотную кислоту для окрашенія дерева, стволовъ гусиныхъ перьевъ и т. п. Какъ кислота эта не измѣняетъ краски берлинской лазури, то и употребляется какъ средство, для отличія этой краски отъ индиго. Если азотная кислота заключаетъ болѣе одного пая воды, то получаетъ названіе *крѣпкой водки*, которую употребляютъ для отдѣленія изъ сплавовъ металловъ золота и платины, остающихся безъ измѣненія въ кислотѣ, тогда какъ прочіе металлы растворяются ею. Это раствореніе происходитъ слѣдующимъ образомъ: часть кислоты разлагается на отдѣляющійся тотчасъ газъ, азотную окись NO_2 и на кислородъ, который соединяется съ металломъ и превращаетъ его въ окиселъ. Окиселъ этотъ соединяется съ неразложенною кислотою и образуетъ соль. Эѳирныя масла, какъ напр. гвоздичное и др. поглощаютъ кислородъ у сгущенной кислоты съ такою быстротою, что воспламеняются и сгараютъ быстро, при чемъ остается смолистый уголь.

Если хлопчатую бумагу погрузить въ смѣсь равныхъ частей по вѣсу сгущенной азотной и сѣрной кислоты, и потомъ перемывать нѣсколько разъ въ чистой водѣ до тѣхъ поръ, пока бумага не сдѣлается бѣлою и свободною отъ кислоты, и потомъ высушить совершенно, то по воспламененіи своемъ бумага дѣйствуетъ около пяти разъ сильнѣе противу пороха, но уступаетъ послѣднему въ томъ отношеніи, что легче воспламеняется отъ нагрѣванія или удара и болѣе противу пороха дѣйствуетъ на каналъ орудій. Если растворить приготовленную такимъ образомъ бумагу въ обыкновенномъ продажномъ сѣрномъ эѳирѣ, разведенномъ немного спиртомъ, то получаютъ густую жидкость, извѣстную подъ названіемъ *коллодіума*.

Если покрыть коллодіумомъ какую нибудь поверхность, то по испареніи эѳира на послѣдней остается прозрачная плева. Это свойство коллодіума доставило ему примѣненіе въ медицинѣ для стягиванія ранъ.

Мы уже сказали выше, что металлы окисляются на счетъ кислорода извѣстной части азотной кислоты, при чемъ отдѣляется газообразная *азотная окись* (NO_2). Газъ этотъ безцвѣтенъ, но въ прикосновеніи съ атмосфернымъ воздухомъ образуетъ золотисто-красные пары; при этомъ онъ поглощаетъ въ себя кислородъ и переходитъ въ *азотистую кислоту* (NO_3). Азотная кислота, въ смѣшеніи съ азотистой, принимаетъ желтый цвѣтъ и называется *дымящейся азотной кислотою*, потому что находящаяся съ нею азотистая кислота весьма летуча и даетъ на воздухѣ красные пары.

Перейдемъ теперь къ соединенiямъ кислорода съ сѣрою.

Сѣра даетъ много соединенiй съ кислородомъ, изъ которыхъ мы ограничимся только разсмотрѣнiемъ *сѣрнистой кислоты* (SO_2) и *сѣрной кислоты* (SO_3). Сѣрнистая кислота.

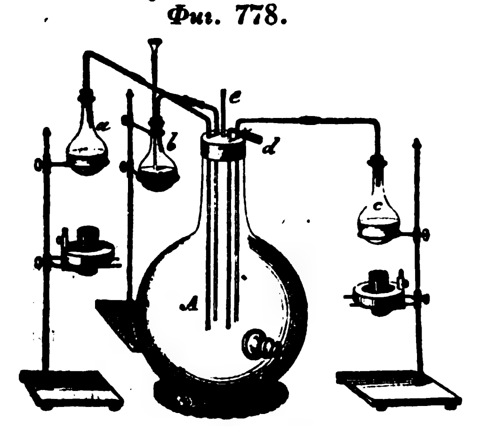
Сѣрнистая кислота есть газъ, происходящiй отъ соединенiя сѣры съ чистымъ кислородомъ, находящимся въ какомъ нибудь прiемникѣ надъ ртутью, а не надъ водою, которая легко растворяетъ ее. Газъ этотъ занимаетъ тотъ же самый объемъ какъ и кислородъ, служившiй для его образованiя. Онъ безцвѣтенъ, неспособенъ поддерживать ни дыханiя, ни горѣнiя и самъ не горитъ. Охлажденный ниже 16° Р. онъ сгущается въ ясную, легко подвижную и на видъ подобную водѣ жидкость; жидкость эта вскипаетъ уже при + 16° Р. и по причинѣ быстраго ея испаренiя охлаждаетъ значительно тѣла, смоченныя ею. Газъ этотъ можетъ быть приведенъ въ жидкое состоянiе даже и при обыкновенной теплотѣ воздуха, съ помощiю давленiя. Онъ поглощается въ значительномъ количествѣ водою, которая принимаетъ въ такомъ случаѣ запахъ и вкусъ кислоты, но не измѣняетъ своего цвѣта.

Сѣрнистая кислота разрушаетъ растительныя и животныя краски, а потому и употребляютъ ее частiю въ видѣ газа, а частiю въ соединенiи съ водою, для бѣленiя органическихъ тѣлъ, какъ наприм. соломы, шелку, шерсти, рога и слоновой кости. Но это обезцвѣчиванiе мало по малу пропадаетъ и первоначальные цвѣта появляются снова, такъ что обезцвѣченныя вещества должны опять быть подвергаемы дѣйствiю сѣрнистой кислоты. Въ иныхъ случаяхъ сѣрнистая кислота, при обезцвѣчиванiи, соединяется съ тѣлами. Лепестки розы, обезцвѣченные сѣрнистой кислотою, принимаютъ прежнiй цвѣтъ при погруженiи ихъ въ сѣрную кислоту.

Сѣрная кислота (SO_3) бываетъ двухъ родовъ: такъ называемая *англiйская* (SO_3+HO) и *дымящаяся* или *нордгаузенская*. Сѣрная кислота.

Для полученiя англiйской кислоты употребляютъ въ лабораторiяхъ приборъ, представленный на фигурѣ 778-й. Въ большой, наполненный воздухомъ, шаръ *A*, проводятъ 1) сѣрнистую кислоту (SO_2), получаемую въ колбѣ *a* отъ обливанiя мѣди крѣпкою сѣрною кислотою; 2) азотную окись (NO_2), отдѣляющуюся изъ колбы *b* отъ обливанiя мѣдныхъ опилокъ слабою азотною кислотою (NO_5+HO); 3) водяные пары изъ колбы *c*.

Фиг. 778.



Азотная окись, по прикосновенiи съ воздухомъ, извлекаетъ изъ него кислородъ и превращается вслѣдствiе того въ азотноватую кислоту (NO_4), которая при содѣйствiи водяныхъ паровъ разлагается

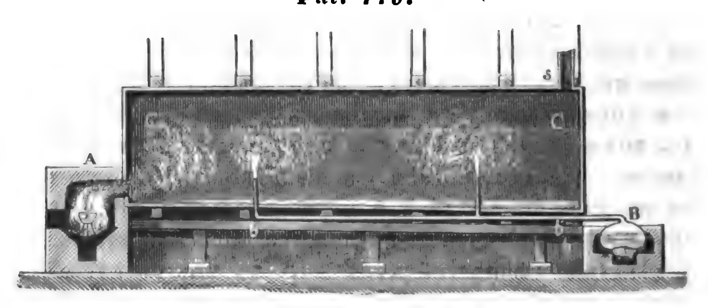
на водную азотную кислоту и на азотную окись. При этомъ сѣрнистая кислота поглощаетъ изъ образовавшейся азотной кислоты количество кислорода, необходимое для превращенія своего въ сѣрную кислоту. Послѣ отдѣленія кислорода азотная кислота превращается въ азотноватую, которая въ прикосновеніи съ водою повторяетъ описанный нами выше процессъ, т. е. опять содѣйствуетъ новому количеству сѣрнистой кислоты превратиться въ сѣрную, и т. д.

Какъ въ шарѣ *A* уменьшается количество кислорода, то по временамъ проводятъ этотъ газъ внутрь шара чрезъ трубку *d*.

Понятно, что въ этомъ опытѣ азотная окись можетъ быть съ выгодою замѣщена соединеніемъ азота, заключающимъ высшую степень кислорода, какъ напр. азотною кислотою.

При добываніи сѣрной кислоты въ значительномъ количествѣ на фабрикахъ, шаръ *A* замѣняется одною или нѣсколькими деревянными камерами, выложенными внутри свинцовыми листами (фиг. 779).

Фиг. 779.



Въ этомъ случаѣ сѣра, сожигаемая въ большой печи, поглощаетъ изъ воздуха количество кислорода, необходимое для превращенія ея въ сѣрнистую кислоту, которая проводится въ камеры и подвергается тамъ описанному нами выше процессу. Какъ въ камерахъ для содѣйствія процессу находится вода, то сѣрная кислота получается въ соединеніи съ водою и потому ее сгущаютъ въ стеклянныхъ или платиновыхъ сосудахъ. При этомъ остается въ сѣрной кислотѣ одинъ пай воды и потому эта кислота, (одинъ пай которой разведенъ 1 паемъ воды) называется *водною сѣрною кислотою* ($SO_3 + HO$).

По удаленіи воды отъ сѣрной кислоты, она превращается въ безцвѣтную асбестовидную массу, называемую *безводною сѣрною кислотою*.

Если смѣшать такую безводную кислоту съ англійскою или водною, то получается бураватаго цвѣта жидкость, извѣстная подъ названіемъ *дымящейся сѣрной кислоты* или *купороснаго масла*. Безводная сѣрная кислота, заключающаяся въ купоросномъ маслѣ испаряется весьма легко и, соединяясь съ водяными парами воздуха, превращается въ англійскую, которая обнаруживается въ видѣ бѣловатаго дыма.

Замѣчательно свойство сѣрной кислоты поглощать въ себя воду. Она извлекаетъ изъ растительныхъ и животныхъ веществъ кисло-

родъ и водородъ и соединяется съ послѣдними. Поэтому если облить сѣрною кислотою напр. дерево, то оно разрушается и принимаетъ буроватый видъ, потому что въ деревѣ остается только углеродъ. Дерево обугливается сѣрною кислотою точно также, какъ и послѣ обжиганія. Одинаковымъ образомъ дѣйствуетъ она и на животныя тѣла.

Сѣрная кислота растворяетъ многіе металлы и имѣетъ большое сродство ко всѣмъ металлическимъ окисламъ. Если привести сѣрную кислоту въ прикосновеніе съ металлическими окислами, соединенными съ другими кислотами, какъ напр. углекислотою и нѣкоторыми другими, то послѣднія изгоняются изъ соединенія сѣрною кислотою. На этомъ основано многоразличное примѣненіе сѣрной кислоты, которая употребляется для выдѣленія и полученія другихъ кислотъ изъ ихъ соединеній.

Сѣрная кислота дѣйствуетъ на желудокъ какъ сильвый ядъ, и потому если бы кто нибудь по неосторожности проглотилъ сѣрной кислоты, то должно тотчасъ принять магнезіи смѣшанной съ водою. Магнезія соединяется съ сѣрною кислотою. Сѣрная кислота весьма часто подмѣшивается въ уксусъ для приданія послѣднему кислаго вкуса; для открытія этой подмѣси достаточно покрыть нижнюю часть фарфороваго блюдечка растворомъ сахара и держать блюдечко надъ парами кипящей воды; послѣ того наливается на растворъ небольшое количество испытуемаго уксуса; если растворъ почернѣетъ, то значитъ въ уксусѣ есть примѣсь сѣрной кислоты, потому что эта кислота обладаетъ свойствомъ обугливать сахаръ.

Углеродъ соединяется съ кислородомъ въ различныхъ отношеніяхъ; главнѣйшее изъ этихъ соединеній есть углекислота (CO_2), которая обыкновенно извѣстна въ газообразномъ состояніи. Углекислота.

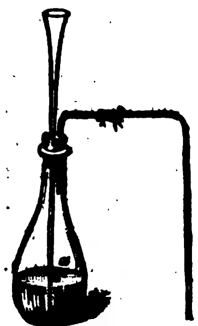
Углекислота значительно распространена въ природѣ и находится въ атмосферномъ воздухѣ, хотя въ незначительномъ количествѣ. Въ нѣкоторыхъ странахъ, какъ напр. въ Пирмонтѣ, въ извѣстной собачьей пещерѣ близь Неаполя и другихъ мѣстахъ, въ особенности близь вулкановъ, она выходитъ постоянно изъ земли. Углекислота попадается также въ водѣ источниковъ; нѣкоторыя изъ нихъ, заключая ее въ значительномъ количествѣ, какъ напр. зельцерская вода, называются *кислыми источниками*. Углекислота попадается въ природѣ весьма часто въ соединеніи съ основаніями. Известковый шпатъ, мраморъ, мѣлъ и обыкновенный известнякъ, заключаютъ въ себѣ углекислоту. Углекислое кали и натръ составляютъ главную основную часть поташа и соды. Многія изъ этихъ соединеній отдѣляютъ углекислоту посредствомъ нагрѣванія, какъ это бываетъ при обжиганіи известковыхъ плитъ.

Обожженная известь есть ни что иное какъ известнякъ, освобожденный отъ углекислоты; въ извести заключаются впрочемъ многія посторонніе примѣси, какъ напр. кремневая кислота, глиноземъ. Должно замѣтить, что известь, долго лежащая на воздухѣ, снова поглощаетъ изъ него углекислоту.

Углекислота образуется при горѣніи тѣлъ, заключающихъ углеродъ, какъ наприм. алмаза, графита, каменнаго угля, дерева и др., при дыханіи животныхъ, при гніеніи органическихъ тѣлъ, при броженіи вина, пива и т. п.

Какъ углекислота есть собственно слабая кислота, то весьма легко изгоняется изъ своихъ соединеній съ основаніями посредствомъ другихъ кислотъ; такъ напр. она получается легко отъ обливанія порошка мѣла въ стеклянномъ сосудѣ *a* (фиг. 780) разведенной азотной кислотой. Углекислота отдѣляется чрезъ газопроводную трубку въ какой нибудь пріемникъ, а въ растворѣ получается азотнокислая известь.

Фиг. 780.



Въ аэростатикѣ мы говорили о приборахъ, употребляемыхъ для насыщенія водъ различными газами: такъ называемая зельцерская вода, заключающая углекислоту, получается изъ порошка, состоящаго изъ двойнаго углекислаго натра ($^1/_2$ унціи) и винной кислоты ($3^1/_2$ драхмы).

Углекислота есть безцвѣтный газъ, окрашивающій смоченную лакмусовую бумажку, въ $1^1/_2$ раза тяжелѣе противу атмосфернаго воздуха, не поддерживаетъ горѣнія тѣлъ и сама не горитъ. Какъ эта кислота тяжелѣе атмосфернаго воздуха, то ее можно переливать изъ одного сосуда въ другой; точно также можно потушить свѣчу, если вылить на нее изъ стакана извѣстное количество углекислоты. Углекислота вредна для дыханія, производитъ головкруженіе и обморокъ; отъ вдыханія чистой углекислоты животныя и люди умираютъ; опасности этой подвергаются люди въ погребахъ, гдѣ происходитъ броженіе пива, вина или водки. Даже если въ воздухѣ заключается отъ 1 до 2 процентовъ углекислоты, то люди ощущаютъ удушье.

Углекислота при давленіи 40 атмосферъ превращается въ жидкость и при посредствѣ весьма сильнаго искусственнаго холода получается даже въ видѣ снѣгообразной твердой массы.

Одинъ объемъ воды поглощаетъ одинъ объемъ углекислоты.

При процессахъ дыханія и горѣнія кислородъ постоянно извлекается изъ атмосфернаго воздуха и какъ показываютъ опыты, послѣдній принимаетъ въ себя объемъ углекислоты на каждый объемъ выдѣлившагося кислорода. Но этотъ обмѣнъ газовъ, повидимому угрожающій атмосферѣ совершеннымъ израсходованіемъ заключающагося въ ней кислорода, вознаграждается слѣдующими явленіями. Вредный для дыханія людей углекислый газъ поглощается водою въ значительномъ количествѣ; извлекается дождемъ изъ различныхъ частей атмосферы и вмѣстѣ съ послѣднимъ падаетъ на землю, гдѣ служитъ для питанія растеній. Растенія втягиваютъ въ себя углекислоту и при содѣйствіи свѣта разлагаютъ ее: углеродъ входитъ въ составъ ихъ, а кислородъ большею частію выдѣляется въ воздухъ.

Фосфорная и фосфористая кислоты

Кромѣ того кислородъ образуетъ кислоты съ *фосфоромъ: фосфорную* и *фосфористую кислоту*. Для полученія первой сожигаютъ фосфоръ на воздухѣ, или въ кислородѣ, причемъ онъ отдѣляетъ бѣлые густые пары, которые сгущаясь, принимаютъ видъ бѣлаго порошка, представляющаго собственно фосфорную кислоту. При слабомъ доступѣ кислорода во время сожиганія фосфора получается фосфористая кислота.

Кислородъ, въ соединеніи въ кремніемъ, даетъ *кремневую кислоту* ($Si\ O_3$), которая въ чистомъ видѣ встрѣчается въ природѣ въ горномъ хрусталѣ и въ обыкновенномъ кварцѣ; въ примѣси съ различными веществами — въ аметистѣ, халцедонѣ, кремнѣ и другихъ минералахъ. Кромѣ того она встрѣчается въ соединеніи со многими окислами металловъ, извѣстныхъ подъ названіемъ щелочей. Почти всѣ растенія принимаютъ въ себя кремневую кислоту изъ почвы; въ особенности богатъ кремневою кислотою стебель травъ и зерновыхъ растеній. Въ животныхъ встрѣчаются слѣды кремневой кислоты, но въ особенности богаты ею инфузоріи. Кремневая кислота въ чистомъ видѣ, какъ напр. въ горномъ хрусталѣ, прозрачна, тверда, плавится только при сильномъ содѣйствіи кислорода и при большомъ жарѣ; въ водѣ и во всѣхъ кислотахъ, за выключеніемъ хлористо-водородной кислоты, нерастворима. Если же кремневая кислота отдѣлена изъ ея соединеній мокрымъ путемъ, то тотчасъ по полученіи она представляетъ просвѣчивающую студенистую массу, растворимую въ водѣ преимущественно въ той, которая содержитъ углекислоту. Этимъ объясняется появленіе ея въ водѣ источниковъ, колодцевъ и въ растеніяхъ. Въ особенности она встрѣчается въ значительномъ количествѣ въ горячихъ источникахъ Исландіи. Кремневая кислота.

Перейдемъ теперь къ разсмотрѣнію главнѣйшихъ *водородныхъ кислотъ*. Водородъ обладаетъ сильнымъ сродствомъ къ хлору. Если смѣшать въ темнотѣ одинъ объемъ хлора съ однимъ объемомъ водорода и потомъ подвергнуть смѣсь дѣйствію свѣта, то оба газа соединяются между собою, съ сильнымъ взрывомъ. Продуктъ этого соединенія есть *хлористо водородная* или *соляная кислота* (HCl). Одинъ объемъ хлора и одинъ объемъ водорода даютъ два объема газообразной соляной кислоты. Соляная кислота.

Обыкновенно же соляная кислота получается отъ обливанія поваренной соли (хлористаго натрія) сгущенной сѣрной кислотой. Вода, соединенная съ сѣрной кислотой, дѣлается при этомъ свободною; кислородъ ея соединяется въ металломъ натріемъ и превращаетъ послѣдній въ окиселъ, извѣстный подъ названіемъ натра, который даетъ въ сѣрной кислотою сѣрнокислый натръ (глауберову соль). Въ тоже самое время, выдѣлившійся изъ воды водородъ соединяется съ хлоромъ и даетъ хлористо-водородную кислоту. Кислота эта есть безцвѣтный газъ, поглощаемый сильно водою. Одинъ объемъ воды можетъ принять въ себя до 464 объемовъ газообразной соляной кислоты. Поглощенная водою кислота эта обыкновенно употребляется въ продажѣ и въ этомъ видѣ называется соляной кислотой. Газообразная соляная кислота имѣетъ острый сильный запахъ, вредна для дыханія, сама не горитъ и не поддерживаетъ горѣнія. При весьма значительномъ давленіи превращается въ жидкость.

Въ такъ называемой жидкой соляной кислотѣ растворяются многіе металлы, какъ напр. цинкъ, олово, желѣзо. При этомъ металлы соединяются съ хлоромъ, а водородъ дѣлается свободнымъ.



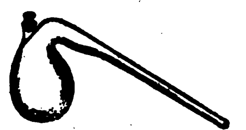
Жидкая соляная кислота дѣйствуетъ разрушительно на животныя и растительныя вещества, въ особенности на послѣднія.

Царская водка. Если смѣшать одну часть по вѣсу азотной кислоты съ 2 частями соляной кислоты, то получается, такъ называемая, *царская водка:* названіе это произошло вслѣдствіе способности ея растворять золото, которое алхимики считали царемъ металловъ. Подобно золоту царская водка растворяетъ и платину.

При смѣшеніи обѣихъ кислотъ происходитъ слѣдующее разложеніе: хлоръ отдѣляется, а водородъ (отъ одной части соляной кислоты) и кислородъ (отъ одной части азотной кислоты) соединяются между собою и даютъ воду. Это разложеніе обѣихъ кислотъ продолжается до тѣхъ поръ, пока заключающаяся въ нихъ вода не будетъ насыщена хлоромъ. Если погрузить золото въ царскую водку, то оно соединяется съ хлоромъ въ моментъ его отдѣленія и образуетъ хлористое золото, растворяющееся въ жидкости; вслѣдствіе чего продолжается дальнѣйшее разложеніе обѣихъ кислотъ, отдѣленіе хлора и образованіе хлористаго золота.

Сѣрнисто-водородн. кислота. *Сѣрнисто-водородная кислота* HS получается въ стеклянной ретортѣ (фиг. 781), отъ обливанія сѣрнистаго желѣза (FeS) англійскою сѣрною кислотою (SO_3): при чемъ образуется желѣзный купоросъ ($FeO+SO_3$), остающійся въ ретортѣ и отдѣляющійся безвѣтный газъ — сѣрнистоводородная кислота. Газъ этотъ обладаетъ весьма непріятнымъ запахомъ гнилыхъ яицъ; въ соединеніи съ атмосфернымъ воздухомъ сгараетъ, если воспламенить его. Въ чистомъ видѣ для дыханія ядовитъ, хотя незначительная примѣсь его въ воздухѣ и можетъ быть безвредно вдыхаема. Онъ поглощается водою въ значительномъ количествѣ и удерживаетъ въ ней свои характеристическія свойства. Въ природѣ встрѣчаются минеральныя воды, содержащія въ растворѣ эту кислоту, присутствіе которой узнается легко по запаху этихъ водъ. Серебро, свинецъ, мѣдь и латунь, въ прикосновеніи съ этою кислотою, покрываются темнымъ слоемъ, происходящимъ отъ соединенія металла съ сѣрою. Кислота эта образуется при гніеніи органическихъ тѣлъ, заключающихъ сѣру, такъ напр. при гніеніи яицъ.

Фиг. 781.



Многіе металлы осаждаются изъ растворовъ посредствомъ сѣрнистаго водорода, при чемъ образуются нерастворимые въ водѣ сѣрные металлы; кислородъ же металлическихъ окисловъ соединяется съ водородомъ сѣрнисто-водородной кислоты и образуетъ воду. На этомъ основаніи весьма часто употребляютъ сѣрнистый водородъ, какъ средство для узнанія присутствія металловъ въ растворахъ.

Если къ водѣ, заключающей въ растворѣ незначительное количество свинцоваго сахара, прилить воду, поглотившую сѣрнисто-водородную кислоту, то тотчасъ образуется темный осадокъ сѣрнистаго свинца. Если писать на бумагѣ растворомъ свинцоваго сахара въ водѣ, то буквы, по высушеніи, дѣлаются

незамѣтными. Но если держать написанную такимъ образомъ бумагу надъ поверхностію воды, поглотившей сѣрнистый водородъ, то буквы принимаютъ темнобурый цвѣтъ. Такой растворъ называется симпатическими чернилами.

Фторъ образуетъ съ водородомъ *фтористоводородную* или *плавиковую кислоту* (HFl). Она получается отъ разложенія плавиковаго шпата крѣпкою сѣрною кислотою. Какъ плавиковая кислота разъѣдаетъ стекло, фосфоръ и большую часть металловъ, то ее добываютъ въ платиновыхъ или свинцовыхъ приборахъ. Кислота эта принадлежитъ къ числу сильнѣйшихъ ядовъ: капля кислоты даетъ на тѣлѣ сильное воспаленіе, сопровождающееся лихорадочными припадками. Значительный обжогъ можетъ даже причинить смерть. Кислота эта въ безводномъ состояніи имѣетъ видъ безцвѣтной жидкости; не замерзаетъ ни при какомъ холодѣ и на воздухѣ отдѣляетъ густые бѣлые пары, происходящіе отъ соединенія паровъ ея съ нарами воды; имѣетъ сильное сродство къ водѣ и смѣшивается съ послѣднею во всѣхъ пропорціяхъ; разведенная въ достаточномъ количествѣ, она не дымится на воздухѣ. Фтористо-водородн. кислота.

Плавиковая кислота разъѣдаетъ стекло и потому употребляютъ ее для травленія различныхъ рисунковъ на стеклѣ. Для этого покрываютъ стекло воскомъ и на послѣднемъ чертятъ рисунокъ такъ, чтобы въ мѣстахъ, соотвѣтствующихъ рисунку, стекло было обнажено. Рисунокъ покрываютъ на нѣсколько минутъ слабымъ растворомъ плавиковой кислоты или держатъ его надъ парами, отдѣляющимися изъ нагрѣтаго сосуда, въ которомъ находится смѣсь мелкоистолченнаго плавиковаго шпата и крѣпкой сѣрной кислоты. При употребленіи жидкой кислоты штрихи получаются прозрачные, а при газообразной — матовые; дѣленія на трубкахъ термометровъ вытравливаются преимущественно газообразною кислотою.

Разсмотримъ здѣсь главнѣйшія соединенія углерода съ водородомъ.

Углеродистый двухъводородный газъ, называемый также *болотнымъ* (H_2C), образуется весьма часто въ каменоломняхъ, въ водахъ, гдѣ происходитъ гніеніе органическихъ тѣлъ, въ болотахъ, и выходитъ въ значительномъ количествѣ изъ земли въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ находятся слои каменнаго угля, такъ напр. близь Рейна у Эмса. Болотный газъ.

Газъ этотъ не имѣетъ ни вкуса, ни запаха, тяжелѣе атмосфернаго воздуха, не поддерживаетъ дыханія и горитъ голубымъ, слабымъ свѣтомъ. Смѣшанный съ атмосфернымъ воздухомъ, и преимущественно съ кислородомъ, сгараетъ онъ съ сильнымъ взрывомъ. Взрывы эти, происходящіе въ каменоломняхъ, вслѣдствіе зажиганія этого газа пламенемъ лампъ, весьма часто сопровождаются самыми опасными послѣдствіями. Для отвращенія опасности употребляютъ въ каменоломняхъ, такъ называемую, Девіеву предохранительную лампу; пламя этой лампы находится во внутренности продолговатаго цилиндра, состоящаго изъ металлической сѣтки, которая препятствуетъ загоранію болотнаго газа, находящагося съ наружной стороны ея.

Углеродисто водородный или, такъ называемый, *маслородный газъ* (HC), заключаетъ на тоже количество водорода вдвое большее количество углерода противу болотнаго газа. Названіе свое онъ полу- Маслородный газъ.

чилъ отъ того, что въ соединеніи съ хлоромъ даетъ маслообразную жидкость; онъ легче атмосфернаго воздуха, имѣетъ непріятный запахъ и горитъ яркимъ пламенемъ.

Отъ этого газа преимущественно зависитъ яркость пламени газоваго освѣщенія и пламени свѣчъ и лампъ. Для приготовленія газа, употребляемаго въ городахъ для освѣщенія улицъ, накаливаютъ каменные угольи въ чугунныхъ ретортахъ, или же вливаютъ постепенно масло или растопленную смолу въ раскаленные чугунные цилиндры, въ которыхъ происходитъ разложеніе масла или смолы. Чрезъ это получается смѣсь многихъ газовъ, въ особенности маслороднаго, болотнаго и соединеній кислорода съ углеродомъ; а также различные парообразные продукты. Всѣ полученные такимъ образомъ газы и пары проводятся въ охладительный приборъ, въ которомъ осаждаются вода и деготь; изъ охладительнаго прибора газы проходятъ въ сосуды съ известію, отнимающею у нихъ углекислоту. Освобожденный отъ примѣсей газъ проводится въ большой газометръ, описаніе котораго было сдѣлано нами въ статьѣ о движеніи газовъ.

Обыкновенныя свѣчи и лампы повторяютъ въ маломъ видѣ тотъ же процессъ, и потому мы считаемъ полезнымъ дать здѣсь понятіе о самомъ процессѣ *горѣнія*.

Горѣніе, какъ мы уже сказали при описаніи кислорода, есть собственно соединеніе горючаго тѣла съ кислородомъ.

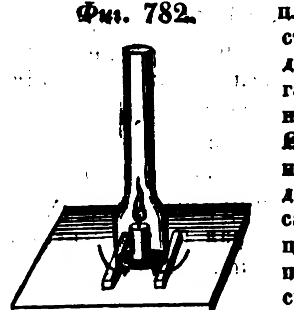
Поэтому для полученія горѣнія необходимо:

1) *присутствіе горючаго тѣла*, какъ напр. угля, водорода, фосфора, сѣры, желѣза, дерева и другихъ горючихъ тѣлъ.

2) *присутствіе кислорода или атмосфернаго воздуха, содержащаго кислородъ*. Опытъ показываетъ намъ, что въ безвоздушномъ пространствѣ пневматической машины тотчасъ погасаетъ горящая свѣча.

3) Если на дощечку, посыпанную пескомъ, поставить зажженный огарокъ свѣчи и покрыть его стеклянымъ цилиндромъ, то пламя погаснетъ вскорѣ, не взирая на то, что цилиндръ открытъ сверху. Это происходитъ отъ того, что газы, образующіеся при горѣніи, будучи нагрѣты, занимаютъ верхнюю часть цилиндра и препятствуютъ такимъ образомъ кислороду наружнаго воздуха достигать до пламени; а что при горѣніи дѣйствительно образуются газы, мы это покажемъ ниже при разсмотрѣніи пламени. По той же самой причинѣ пламя гаснетъ въ томъ случаѣ, если цилиндръ, поставленный на два брусочка (фиг. 782), покрыть сверху дощечкой, препятствующей выходу образовавшихся газовъ. Когда же оставить цилиндръ на брускахъ, не покрывая его дощечкой, то горѣніе продолжается. Если погасить восковой фитиль и поднести его къ верхнему краю стекляннаго цилиндра, то по направленію дыма можно убѣдиться въ поднятіи воздуха. Тотъ же самый фитиль, поднесенный къ нижнему отверстію цилиндра, показываетъ, что воздухъ устремляется въ послѣдній. Изъ этихъ опытовъ мы заключаемъ, что снизу притекаетъ къ пламени атмосферный воздухъ, кислородъ его поглощается горящею свѣчею, чрезъ что образуются газообразныя соединенія, выходящія чрезъ верхнее отверстіе цилиндра. Вслѣдствіе того притекаетъ къ пламени свѣжее количество воздуха и

Фиг. 782.

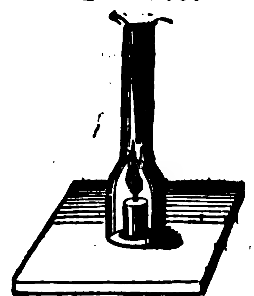


повторяется тотъ же процессъ. Причина же поднятія воздуха заключается въ томъ, что онъ нагрѣвается пламенемъ свѣчи и дѣлается поэтому легче.

Слѣдовательно, *для поддержанія горѣнія необходимъ притокъ свѣжаго количества воздуха; притокъ этотъ доставляетъ пламени новое количество кислорода взамѣнъ того, которое расходуется на горѣніе.*

Въ необходимости свободнаго теченія воздуха при горѣніи убѣждаетъ насъ также опытъ, представленный на фиг. 783-й. Свѣча продолжаетъ горѣть, не взирая на прикосновеніе нижней части цилиндра къ доскѣ въ томъ случаѣ, если мы вставимъ въ верхнюю часть стекла дощечку, которая доставляетъ возможность получить струю входящаго и выходящаго воздуха. По той же причинѣ, хорошо устроенныя печи должны обладать надлежащей тягой воздуха; самые дрова и уголья должно класть такъ, чтобы кислородъ имѣлъ къ нимъ свободный доступъ. Узкія трубы обладаютъ большей тягой противу широкихъ, потому что въ первыхъ воздухъ скорѣе нагрѣвается и дѣлается легче.

Фиг. 783.



4) *Всякое тѣло для воспламененія должно быть нагрѣто до извѣстной температуры.* Одни тѣла требуютъ при этомъ болѣе низкой, а другія болѣе высокой температуры, фосфоръ загарается отъ теплоты, доставляемой солнечными лучами. Сѣра требуетъ уже большаго нагрѣванія, а дерево для воспламененія требуетъ еще высшей температуры. Горѣніе прекращается съ пониженіемъ необходимой для того температуры. На этомъ основано употребленіе холодной воды для тушенія пожаровъ.

5) *Съ помощію горѣнія получается развитіе теплоты,* достигающее у нѣкоторыхъ тѣлъ до значительной степени. Если зажечь конецъ лучинки на свѣчѣ, то лучинка продолжаетъ горѣть далѣе безъ содѣйствія свѣчи. Горящая часть лучинки развиваетъ такое количество теплоты, которое достаточно для нагрѣванія слѣдующихъ частей лучинки. Поэтому въ началѣ должно держать лучинку такъ, чтобы пламя могло обхватывать еще незагорѣвшіяся части и нагрѣвать ихъ. Теплота, развиваемая при горѣніи, употребляется на приготовленіе яствъ, на отопку комнатъ и т. д.

6) *При каждомъ горѣніи образуется новое тѣло или нѣсколько тѣлъ.* Вновь образовавшійся продуктъ всегда есть соединеніе кислорода съ сгараемыми веществами. Такъ напр. при горѣніи желѣза образуется желѣзная окись; при горѣніи фосфора фосфорная кислота, при сѣрѣ сѣрнистая кислота, при углѣ углекислота, при водородѣ вода и т. д. Многія горящія тѣла, въ соединеніи съ кислородомъ, даютъ газообразные продукты, удаляющіеся при самомъ горѣніи.

Твердыя тѣла только накаливаются при горѣніи, а газообразныя при горѣніи даютъ пламя. Металлы и чистый уголь накаливаются, не образуя пламени. Если мы и замѣчаемъ пламя при горѣніи каменнаго угля, то это происходитъ отъ заключающагося въ немъ водорода, который отдѣляется при горѣніи въ видѣ горящаго газа. Онъ увлекаетъ за собою тончайшія частицы угля, накаливающіяся въ его пламени.

Перейдемъ теперь къ разсмотрѣнію горѣнія свѣчей и лампъ.

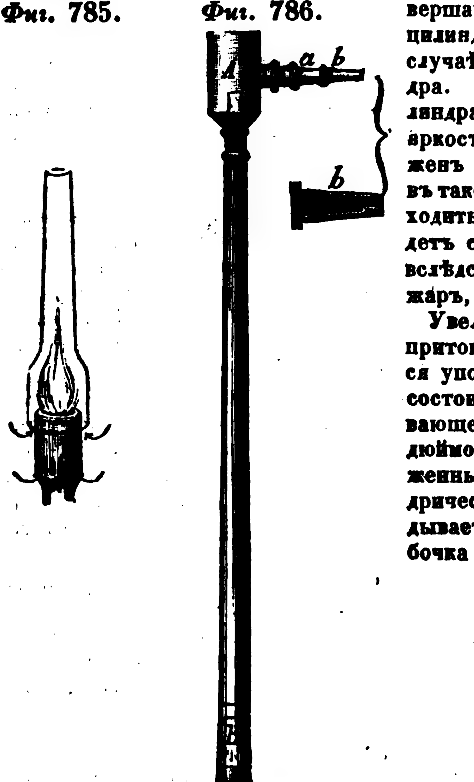
Сало, равно какъ и воскъ, суть сложныя тѣла, состоящія изъ кислорода, водорода и углерода. Если зажечь свѣтильню сальной свѣчи, то вслѣдствіе теплоты сперва растапливается сало; по приведеніи въ жидкое состояніе сало вбирается свѣтильнею и поднимается кверху. Здѣсь отъ теплоты зажженнаго фитиля оно разлагается на свои составныя части. Кислородъ, водородъ и углеродъ дѣлаются свободными. При этомъ водородъ соединяется снова какъ съ отдѣлившимся кислородомъ, такъ и тѣмъ, который притекаетъ къ пламени и по соединеніи своемъ образуетъ воду. Углеродъ же увлекается кверху нака-

ливается въ пламени и, соединяясь съ кислородомъ, даетъ углекислоту. При внимательномъ наблюденіи у каждаго пламени можно различить три части (фиг. 784). Посрединѣ темное ядро *a* — это поднятые, газообразные продукты разложенія горючаго матеріяла, которымъ для горѣнія не достаетъ кислорода. Возлѣ этого темнаго ядра нетрудно замѣтить свѣтлую часть *c*; въ этой части по недостатку надлежащаго притока кислорода воздуха, горитъ преимущественно водородъ, въ которомъ находятся раскаленныя частицы углерода; раскаленное состояніе послѣднихъ служитъ причиною яркости этой части пламени. Наконецъ можно отличать еще снаружи слабо свѣтящуюся оболочку *dd*, въ которой отдѣляющійся углеродъ вступаетъ въ непосредственное прикосновеніе съ кислородомъ и даетъ углекислоту. Свѣтящая способность пламени зависитъ преимущественно отъ накаливанія твердыхъ частей углерода, потому что газообразный водородъ при горѣніи даетъ только слабый свѣтъ.

Фиг. 784.

Тоже самое явленіе повторяется при горѣніи лампъ. Чтобы доставить притокъ воздуха и внутренней части пламени, употребляются полыя свѣтильни, и самимъ лампамъ доставляется *двойной притокъ* воздуха (фиг. 785). Здѣсь должно замѣтить, что теченія воздуха совершаются удобнѣе, если пламя окружено цилиндромъ, самое пламя бываетъ въ этомъ случаѣ гораздо ярче, нежели безъ цилиндра. Вышина и ширина стекляннаго цилиндра оказываютъ большое вліяніе на яркость пламени: притокъ воздуха не долженъ быть слишкомъ силенъ, потому что въ такомъ случаѣ углеродъ не станетъ приходить въ бѣлокалильное состояніе, а будетъ сгарать тотчасъ по отдѣленіи своемъ, вслѣдствіе того произойдетъ сильнѣйшій жаръ, но яркость пламени уменьшится.

Фиг. 785. *Фиг.* 786.



Увеличеніе жара пламени увеличеніемъ притока воздуха лучше всего доказывается употребленіемъ *паяльной трубки*. Она состоитъ изъ небольшой конической съуживающейся трубки (фиг. 786) отъ 6 до 8-ми дюймовъ длиною; трубка эта входитъ съуженнымъ концомъ въ небольшое цилиндрическое вмѣстилище *A*, въ которое вкладывается, такъ называемая, выдувная трубочка *ab*, обыкновенно снабжаемая платиновымъ наконечникомъ. Если посредствомъ этого прибора вдувать сгущенный воздухъ въ средину пламени масляной или спиртовой лампы (фиг. 787), то сгараніе разложенныхъ продуктовъ горѣнія ускоряется и жаръ сильно увели-

Фиг. 787.



чивается. Внѣшній видъ пламени претерпѣваетъ при этомъ измѣненіе; свѣтлая часть пламени, состоящая изъ раскаленныхъ частичекъ угля, замѣтно уменьшается, между тѣмъ какъ та, въ которой происходитъ полное горѣніе, при содѣйствіи воздуха (проникающаго во внутреннюю часть ея), значительно увеличивается. Дѣйствіе пламени паяльной трубки двоякое: въ той части пламени, гдѣ доступъ воздуха значителенъ, происходитъ совершенное горѣніе и сильный жаръ. Если внести въ эту часть тѣло способное соединяться съ кислородомъ или, какъ говорятъ, *окисляться,* то оно дѣйствительно соединяется съ кислородомъ. Если же внести окисленное тѣло въ ту часть пламени, гдѣ не происходитъ полнаго горѣнія, то оно, вслѣдствіе находящихся тамъ сильно нагрѣтыхъ углерода и водорода, лишается своего кислорода и слѣдовательно *раскисляется.* Поэтому въ пламени паяльной трубки различаютъ дѣйствіе окисляющее и раскисляющее.

Дымъ, образующійся при горѣніи масла въ обыкновенныхъ лампахъ, при горѣніи дерева и каменнаго угля, происходитъ отъ того, что не весь уголь сгараетъ совершенно. Эти несожженныя частицы угля въ раздробленномъ состояніи уносятся восходящими слоями теплаго воздуха. Чѣмъ менѣе воздухъ имѣетъ свободнаго доступа къ пламени, тѣмъ несовершеннѣе сгараетъ уголь и тѣмъ болѣе будетъ отдѣляться дымъ. Несожженный уголь этотъ осаждается на поверхности твердыхъ тѣлъ, какъ напр. трубъ, и даетъ сажу.

Мы дуемъ на свѣчку для того, чтобы потушить пламя: въ этомъ случаѣ происходитъ удаленіе пламени отъ свѣтильни, которая доставляетъ пламени питаніе. Тлѣющая свѣтильня не даетъ обыкновенно такой теплоты, которая бы могла способствовать воспламененію газовъ, отдѣляющихся отъ растопленнаго сала.

Если опустить частую сѣтку (фиг. 788) на пламя, то послѣднее опускается книзу, а чрезъ сѣтку проходитъ только одинъ дымъ; это происходитъ вслѣдствіе поглощенія сѣткою теплоты пламени. И въ самомъ дѣлѣ, если сѣтка раскалится, то дымъ воспламеняется тотчасъ. На этомъ охлажденіи пламени основано устройство Девіевой предохранительной лампы, о которой мы говорили выше. Если въ рудокопнѣ при употребленіи Девіевой лампы и случается взрывъ, то воспламеняется только тотъ газъ, который заключается внутри сѣтчатой оболочки лампы. Такимъ образомъ рабочіе имѣютъ время уйти отъ опасности. Весьма часто для воспламененія тлѣющей свѣтильни мы дуемъ быстро на нее: въ этомъ случаѣ мы доставляемъ пламени усиленный притокъ воздуха, который содѣйствуетъ сильнѣйшему сожженію свѣтильни; вслѣдствіе того возвышается температура, и газы воспламеняются.

Фиг. 788.



§ 231. Прежде нежели перейдемъ къ описанію основаній и солей, скажемъ нѣсколько словъ объ металлахъ, потому что большая часть основаній и солей происходятъ отъ различныхъ соединеній нѣкоторыхъ металловъ. Общее понятіе о металлахъ.

Металлы отличаются отъ всѣхъ прочихъ простыхъ тѣлъ плавкостію, непрозрачностію, блескомъ, плотностію и легкою проводимостію теплоты и электричества.

Относительно плавкости металловъ замѣтимъ, что въ этомъ отношеніи между ними находится большое различіе. Ртуть напр. приходитъ въ жидкое состояніе при —32° Р., а желѣзо и платина плавятся только при самыхъ высокихъ температурахъ.

О непрозрачности металловъ можно сказать, что они всѣ непрозрачны; впрочемъ золото въ тонкихъ листочкахъ пропускаетъ значительное количество зеленыхъ лучей.

Блескомъ обладаютъ весьма многіе металлы, какъ то: серебро, ртуть, золото и др. Блескъ есть ни что иное, какъ слѣдствіе непрозрачности металловъ, потому что чѣмъ менѣе какое нибудь тѣло пропускаетъ лучей, тѣмъ болѣе оно ихъ отражаетъ.

Большая плотность не есть общее свойство металловъ, потому что есть металлы легче воды, каковы калій и натрій, а есть и такіе, которые плотнѣе воды въ 21 (платина) и даже въ 23 (иридій) раза. Металлы хорошо проводятъ теплоту и электричество; первымъ свойствомъ особенно обладаютъ золото и серебро, а вторымъ серебро и мѣдь.

Металлы раздѣляются на ковкіе и хрупкіе. Къ болѣе ковкимъ и тягучимъ относятся желѣзо, мѣдь, платина, серебро, золото, олово. цинкъ, свинецъ.

Нѣкоторые металлы обладаютъ необыкновенною твердостію, какъ наприм. иридій, платина. О химическихъ свойствахъ металловъ замѣтимъ слѣдующее:

а) Всѣ металлы соединяются съ кислородомъ, нѣкоторые скоро и при обыкновенной температурѣ, напр. калій; для иныхъ нужна высшая температура, какъ напр. для цинка и желѣза; для соединенія золота съ кислородомъ необходимо еще большее повышеніе температуры. Нѣкоторые металлы соединяются съ кислородомъ только на поверхности, напр. свинецъ и мѣдь. *Благородными* металлами называются тѣ металлы, которые при накаливаніи отдѣляютъ кислородъ, если были прежде соединены съ нимъ; таковы золото, серебро, платина и иридій. Остальные металлы называются *неблагородными*. Если металлъ соединяется съ кислородомъ и потомъ снова отдаетъ его, то процессъ этотъ называется *редуцированіемъ*. Редуцированіе или возстановленіе неблагородныхъ металловъ возможно только въ присутствіи тѣлъ, имѣющихъ сильное сродство къ кислороду. Въ большой части случаевъ употребляется для этой цѣли уголь.

b) Металлы также соединяются и съ другими металлоидами, особенно съ сѣрою, и называются тогда сѣрнистыми металлами.

c) Металлы соединяются между собою двоякимъ образомъ: или въ опредѣленныхъ содержаніяхъ или въ произвольномъ количествѣ. Соединеніе перваго рода произойдетъ, если мы возмемъ накаленый тонкій платиновый листокъ, опустимъ его въ растопленное олово и потомъ станемъ держать на пламени свѣчи; при чемъ мы увидимъ, что листокъ расплавится при сильномъ отдѣленіи свѣта. Соединенія втораго рода называются *сплавами*, которые для выдѣлки разныхъ вещей гораздо удобнѣе, нежели металлы ихъ составляющіе. Всѣ сплавы безъ исключенія плавятся легче, нежели чистые металлы; есть сплавы, которые плавятся въ кипящей водѣ, такъ напр. сплавъ Розе, содержащій въ себѣ 2 части висмута, 1 часть свинца и 1 часть олова. Кромѣ того сплавы отличаются отъ чистыхъ металловъ тѣмъ, что они легче соединяются съ кислородомъ, чѣмъ послѣдніе. Ртуть соединяется съ весьма многими металлами при обыкновенной температурѣ и даетъ *амальгамы*.

d) Металлы очень рѣдко встрѣчаются въ природѣ въ чистомъ видѣ, но по большой части въ соединеніи съ кислородомъ, сѣрою и мышьякомъ. Соединенія эти называются *рудами*. Руды находятся наиболѣе въ жилахъ древнихъ горныхъ породъ; также въ наносахъ, рѣчномъ пескѣ. Посредствомъ различныхъ химическихъ процессовъ изъ рудъ добываются чистые металлы.

Назовемъ имена нѣкоторыхъ металловъ и покажемъ ихъ раздѣленіе на группы:

1. *Легкіе металлы:*
   a) Металлы щелочей: калій, натрій, литій.
   b) Металлы щелочныхъ земель: барій, стронцій, кальцій, магній.
   c) Металлы собственно земель: глиній, бериллій, цирконій, иттрій, церій, эрбій, тербій, торій, норій, лантанъ, дидимій.
2. *Тяжелые металлы:*
   A) Неблагородные металлы:
      a) *тугоплавкіе*: марганецъ, желѣзо, никель, кобальтъ, уранъ, мѣдь.
      b) *легкоплавкіе*: цинкъ, кадмій, свинецъ, висмутъ.
   B) Благородные металлы: ртуть, серебро, палладій, платина, иридій, рутеній, родій, осмій, золото.
3. *Металлы въ соединеніи съ кислородомъ дающіе кислоты:*
   Олово, сурьма, мышьякъ, теллуръ, титанъ, ніобій, танталъ, пелопій, вольфрамъ, молибденъ, ванадій, хромъ, селенъ.

Металлы перваго отдѣла называются легкими, потому что плотность ихъ не превышаетъ 5,0; металлы второй группы *тяжелыми* по причинѣ ихъ большой плотности.

§ 232. При описаніи главнѣйшихъ основаній, мы будемъ говорить вмѣстѣ и о важнѣйшихъ соляхъ. Обозрѣніе важнѣйш. основаній и солей. Кали и соли его.

1) Кали (КаО) въ соединеніи съ водою (ѣдкое кали) образуетъ бѣлое, твердое тѣло, состоящее изъ соединенія кислорода съ металломъ каліемъ, который, будучи брошенъ на воду, окисляется быстро и даетъ красное пламя. При этомъ поглощеніи кислорода изъ воды происходитъ освобожденіе водорода, который можетъ быть поэтому собранъ въ особый пріемникъ. Кали легко плавится и при высокой температурѣ обращается въ пары; легко растворяется въ водѣ и спиртѣ, даже притягиваетъ воду изъ воздуха, вслѣдствіе чего расплывается. Ѣдкое кали дѣйствуетъ разъѣдающимъ образомъ на животныя вещества: волосы, шерсть, шелкъ, рогъ и кожу; оно размягчаетъ ихъ и какъ будто покрываетъ жиромъ.

Кали, соединенное съ углекислотою, даетъ соль, называемую *поташемъ*. Поташъ находится въ золѣ деревьевъ. Для полученія поташа пропускаютъ чрезъ золу горячую воду, которая растворяетъ поташъ и уноситъ его съ собою. Если послѣ того выпарить жидкость, то она оставляетъ сѣрую массу, называемую *сырымъ поташемъ*. Изъ очищеннаго поташа добываютъ кали, прибавляя въ водяной растворъ



поташа жженой извести до тѣхъ поръ, пока она не извлечетъ изъ поташа всей углекислоты.

Известь превращается при этомъ въ углекислую известь и осаждается въ видѣ бѣлаго порошка, между тѣмъ какъ ѣдкое кали остается въ растворѣ и добывается изъ него послѣ выпариванія воды.

Кали въ соединеніи съ углекислотою даетъ *сѣрнокислое кали*, одну изъ составныхъ частей квасцовъ. Соединеніе кали съ хлорною кислотою называется *хлорноватокислое кали* или бертолетова соль ($KaO + ClO_5$). Одна изъ важныхъ солей, заключающихъ кали, есть *азотнокислое кали* ($KaO + NO_5$). обыкновенно называемое *селитрою*, которая, какъ извѣстно, входитъ въ составъ пороха. Послѣдній представляетъ смѣсь изъ 76 частей селитры, 11 частей сѣры и 13 частей угля; впрочемъ составъ пороха нѣсколько уклоняется отъ показанной нами пропорціи, сообразно различнымъ цѣлямъ. При сожиганіи пороха образуются мгновенно многіе газы: азотъ, углекислота, сѣрнистая кислота; они стремятся къ быстрому занятію гораздо большаго пространства. Азотъ и углекислота, уже при 0° Р., занимаютъ въ 450 разъ большее пространство противу пороха, изъ котораго они получились. При образованіи своемъ въ каналѣ орудій, газы находятся въ стѣсненномъ пространствѣ; вслѣдствіе чего увеличивается ихъ упругость и они пріобрѣтаютъ возможность бросать тяжелые снаряды на значительное разстояніе, доставляя имъ огромную начальную скорость.

Если расплавить кали съ пескомъ, заключающимъ кремневую кислоту, то получается *кремнекислое кали*. Вмѣсто кали для той же цѣли можно брать поташъ, потому что кремневая кислота изгоняетъ углекислоту изъ поташа и сама соединяется съ заключающимся въ немъ кали. Изъ кремнекислаго кали приготовляется стекло. Кремнекислое кали входитъ въ составъ многихъ минераловъ, а именно: полеваго шпата, при вывѣтреніи котораго атмосферная углекислота разлагаетъ кремнекислое кали и даетъ углекислое кали.

Натръ и соли его. 2) *Натръ* (NaO) есть соединеніе металла натрія съ кислородомъ. Натрій, по свойствамъ своимъ весьма подобенъ калію; въ соединеніи съ хлоромъ натрій образуетъ *поваренную соль* ($NaCl$). Брошенный на воду натрій восплменяется подобно калію и горитъ голубымъ пламенемъ. Если растворить поваренную соль въ водѣ и потомъ дать водѣ испариться въ какомъ нибудь тепломъ мѣстѣ, то соль получается въ кристаллическомъ видѣ. Точно также получаютъ поваренную соль изъ соляныхъ источниковъ.

Если облить поваренную соль сѣрною кислотою, то хлоръ соединяется съ водородомъ воды, а сѣрная кислота соединяется съ образовавшимся при этомъ натромъ и даетъ *сѣрнокислый натръ* ($NaO + SO_3$), называемый по имени изобрѣтателя *глауберовой солью*. Соль эта заключаетъ въ себѣ много воды, по удаленіи которой она распадается въ порошокъ.

Если освобожденную отъ воды глауберову соль смѣшать съ порошкомъ угля и нагрѣвать смѣсь на кускѣ угля, съ помощію паяльной

трубки, то уголь извлекаетъ кислородъ какъ изъ натра, такъ и изъ сѣрной кислоты и образуетъ улетающую окись углерода. Натрій же соединяется съ сѣрою и даетъ, такъ называемую, *сѣрную печень*.

Если растереть сѣрную печень въ ступкѣ съ равнымъ количествомъ мѣлу, нагрѣвать смѣсь, то получается густая масса, которую варятъ въ водѣ и потомъ процѣживаютъ. По выпариваніи процѣженной жидкости остается бѣлый порошокъ, называемый *углекислымъ натромъ* или содою. Известь, заключавшаяся въ мѣлѣ, соединилась съ сѣрою бывшей въ сѣрной печени, а углекислота мѣла образовала съ натріемъ соду. Обыкновенно для полученія соды накаливаютъ глауберовую соль съ углекислою известію. Въ такомъ случаѣ натръ соли соединяется съ углекислотою углекислой извести и даетъ соду.

Сода приготовляется въ значительномъ количествѣ на фабрикахъ и подобно поташу служитъ для приготовленія мыла.

Если расплавить соду вмѣстѣ съ пескомъ (кремневою кислотою), то получается кремнекислый натръ, стеклообразное тѣло, на подобіе кремнекислаго кали.

Искусственнымъ образомъ приготовленное стекло состоитъ изъ кремнекислаго кали или кремнекислаго натра и кремнекислой извести. Для приготовленія его расплавляютъ смѣсь кварцу (песку) поташу или соды и извести. Различные роды стекла зависятъ какъ отъ различія отношеній между тѣлами его составляющими, такъ и отъ примѣси различныхъ металлическихъ окисей. Такъ напр. зеленый цвѣтъ обыкновеннаго оконнаго и бутылочнаго стекла зависитъ отъ примѣси желѣзной закиси (FeO), потому что для приготовленія этого стекла обыкновенно употребляютъ кварцъ съ примѣсью водной окиси желѣза. Стекло молочнаго цвѣта получается отъ примѣси угля добытаго изъ костей. Родъ стекла, извѣстный подъ названіемъ *флинтгласа*, состоитъ изъ кремневой кислоты, кали и окиси свинца; богемское же стекло или *кронгласъ* состоитъ изъ кремневой кислоты, натра или кали и известняку.

3) *Амміакъ* (NH_3) есть газъ, состоящій изъ соединенія азота съ водородомъ и обладающій рѣзкимъ непріятнымъ запахомъ; онъ безцвѣтенъ, при сильномъ давленіи сгущается въ жидкость, не поддерживаетъ дыханія и поглощается въ значительномъ количествѣ водою: одинъ объемъ воды въ состояніи поглотить до 670 амміака, при чемъ жидкость сильно расширяется и вѣсъ ея увеличивается почти на половину. Продуктъ этого соединенія есть жидкій амміакъ, извѣстный въ продажѣ подъ названіемъ *нашатырнаго спирта* ($NH_3 + HO$). Амміакъ отдѣляется при гніеніи животныхъ тѣлъ; онъ получается между прочимъ отъ нагрѣванія нашатыря (хлористоводороднаго амміака) съ ѣдкою известію. Амміакъ.

Самый же нашатырь или хлористоводородный амміакъ получается слѣдующимъ образомъ. Если прокаливать животныя вещества, такъ чтобы воздухъ не имѣлъ къ нимъ доступа, то получается въ пріемникѣ значительное количество углекислаго амміака. Если растворить углекислый амміакъ въ хлористоводородной кислотѣ, то по выпариваніи получается бѣлая соль, которая есть ни что иное какъ хлористоводородный амміакъ или *нашатырь* ($NH_3 + ClH$). Подобнымъ же образомъ амміакъ соединяется и съ другими кислотами:



углекислотой, азотной кислотой и др. и даетъ съ ними различныя соли.

Соли эти, образующіяся при гніеніи животныхъ и растительныхъ тѣлъ, служатъ весьма важными питательными веществами для растеній.

Известь. 4) *Окись кальція или известь* (CaO) есть извѣстный родъ земли, составляющей основное начало цементовъ, употребляемыхъ въ строительномъ искусствѣ для связки камней и кирпичей. Въ соединеніи съ кислотами она составляетъ одну изъ значительныхъ частей земной коры, какъ напр. въ углекислой и сѣрнокислой извести, въ простыхъ известнякахъ. Самый же кальцій есть металлъ съ виду похожій на серебро; онъ плавится при высокой температурѣ; на воздухѣ быстро окисляется, разлагаетъ воду при обыкновенной температурѣ съ отдѣленіемъ водорода, а самъ превращается при этомъ въ водную известь. Обыкновенные известняки, равно какъ мраморъ и мѣлъ, состоятъ изъ *углекислой извести* ($Ca\ O + CO_2$). Отъ обжиганія въ большихъ известковыхъ печахъ обыкновенныхъ известняковъ отдѣляется изъ нихъ углекислота и получается известь, называемая ѣдкою или обожженною известію, отличающеюся сѣроватымъ цвѣтомъ. Обожженная известь имѣетъ большое сродство къ водѣ и соединяется съ послѣднею при сильномъ развитіи теплоты: вотъ почему должно обходиться осторожно съ ѣдкою известію. Известь, соединенная въ водою, называется *гашеною известію* ($CaO + HO$). Отъ прилитія воды къ послѣдней получается бѣлаго цвѣта жидкость, называемая *известковымъ молокомъ*. Вода же, бывшая въ прикосновеніи въ известію и заключающая въ растворѣ небольшое количество ея, называется *известковою водою*.

Для употребленія извести въ цементы смѣшиваютъ ее съ пескомъ. Известь, положенная въ промежуткѣ между камнями стѣнъ, поглощаетъ углекислоту изъ воздуха и превращается въ твердую массу, состоящую изъ водной углекислой извести.

Углекислая известь растворяется въ водѣ только тогда, если послѣдняя заключаетъ углекислоту. Какъ всѣ источники заключаютъ извѣстное количество углекислоты, то поэтому въ каждомъ изъ нихъ встрѣчается примѣсь углекислой извести. По удаленіи углекислоты изъ воды углекислая известь осаждается.

Углекислая известь входитъ въ составъ костей животныхъ, скорлупы яицъ и т. д. и поэтому принимается многими животными вмѣстѣ съ пищею. Многія растенія заключаютъ въ себѣ также углекислую известь.

Известь, въ соединеніи съ сѣрною кислотою, даетъ *сѣрнокислую известь* или *гипсъ* ($CaO + SO_3$), а какъ въ гипсѣ заключается вода, то точнѣе означать его формулой: ($CaO\ SO_3 + 2HO$). Гипсъ попадается въ природѣ весьма часто въ видѣ сплошныхъ зернистыхъ массъ и извѣстенъ въ такомъ случаѣ подъ названіемъ *алебастра*. Вода, заключающаяся въ гипсѣ, можетъ быть удалена изъ него съ помощію умѣреннаго нагрѣванія. Истолченный, обожженный гипсъ,

приведенный съ водою въ тѣстообразное состояніе, даетъ матеріялъ для такъ называемыхъ гипсовыхъ фигуръ. Онъ соединяется тогда съ водою химически, а спустя извѣстное время даетъ твердую массу. Гипсъ употребляется также для удобренія полей.

Хлорноватистокислая известь есть бѣлый порошокъ, употребляемый для бѣленія тканей; онъ разлагается отъ дѣйствія углекислоты воздуха, при чемъ выдѣляется хлоръ, о вліяніи котораго на растительныя тѣла мы уже говорили. Смѣсь хлорноватистокислой извести съ хлористымъ кальціемъ и ѣдкою известію извѣстна въ торговлѣ подъ названіемъ *хлорной* или *бѣлильной извести*. Известь эту употребляютъ для бѣленія бумажныхъ и льняныхъ тканей и для уничтоженія дурнаго запаха, происходящаго вслѣдствіе разложенія животныхъ организмовъ.

Фосфорнокислая известь составляетъ главную часть животныхъ костей, *кремнекислая известь* употребляется при изготовленіи стекла.

5) *Окись барія* или *баритъ* (BaO) есть соединеніе кислорода съ бѣлымъ, блестящимъ и похожимъ на серебро металломъ *баріемъ*. Барій имѣетъ сильное сродство къ кислороду; на воздухѣ онъ окисляется быстро; даже при низкой температурѣ разлагаетъ воздухъ отдѣленіемъ водорода. *Сѣрнокислый баритъ* встрѣчается въ природѣ въ значительномъ количествѣ въ окристаллованномъ видѣ и извѣстенъ подъ названіемъ *тяжелаго шпата*. Окись барія.

6) *Магнезія* (MgO) есть окись металла магнія; она распространена въ природѣ въ составѣ горныхъ породъ. *Кремнекислая магнезія* въ соединеніи съ водою образуетъ морскую пѣнку и талькъ. *Сѣрнокислая магнезія* заключается во многихъ минеральныхъ источникахъ; *углекислая магнезія* въ соединеніи съ углекислою известію составляетъ доломитъ. Магнезія.

Глиноземъ (Al_2O_3), представляющій единственное соединеніе металла глинія въ кислородомъ, подобно кремневой кислотѣ и извести составляетъ главную часть многихъ минераловъ. Такъ напр. *сафиръ* есть чистый глиноземъ. Глиноземъ.

Сѣрнокислый глиноземъ въ соединеніи въ сѣрнокислымъ кали образуетъ квасцы, употребляемые въ красильняхъ и въ типографіяхъ. Обыкновенная *глина* состоитъ изъ *кремнекислаго глинозема* съ примѣсью другихъ металлическихъ окисловъ. Отъ различія этихъ примѣсей происходятъ различные роды глины: горшечная, трубочная и т. д.; глина употребляется на изготовленіе различной посуды, вслѣдствіе свойства ея принимать въ мягкомъ видѣ различную форму, которую она сохраняетъ послѣ обжиганія Отъ различной степени обжиганія и отъ чистоты глиняной массы зависятъ различныя названія, даваемыя изготовляемымъ изъ нея издѣліямъ (фаянсъ, фарфоръ и др.).

§ 233. Что же касается до тяжелыхъ металловъ, то мы ограничиваемся здѣсь только указаніемъ общихъ пріемовъ ихъ добыванія. Только весьма немногіе металлы находятся въ природѣ въ чистомъ видѣ, такъ чтобы они не требовали дальнѣйшей обработки для упо- Общіе пріемы добыв. тяжел. металл.

требленія ихъ на различныя издѣлія. Почти всегда мы встрѣчаемъ въ природѣ металлы въ соединеніи или съ кислородомъ или сѣрою и при томъ вмѣстѣ съ тою жильною породою, изъ которой руды эти добываются. Хотя добываніе каждаго металла представляетъ нѣкоторыя частныя особенности, тѣмъ не менѣе есть общіе пріемы, болѣе или менѣе употребляемые при добываніи всѣхъ вообще металловъ. Возмемъ для примѣра двѣ руды; положимъ что одна изъ нихъ есть соединеніе желѣза съ кислородомъ, т. е. окись желѣза, и что эта окись находится въ соединеніи съ кремнекислотою (съ кварцемъ). Для другаго примѣра возмемъ руду, извѣстную подъ названіемъ *свинцоваго блеска*, который состоитъ изъ соединенія свинца съ сѣрою. Чтобы изъ первой руды, т. е. изъ кремнекислой окиси желѣза, получить чистое желѣзо, смѣшиваютъ ее съ углемъ и известью, потомъ накаливаютъ эту смѣсь въ особенныхъ печахъ (доменныя печи). При высокой температурѣ кремнеземъ, находившійся въ желѣзной рудѣ, соединяется съ известью, образуетъ жидкую массу, которая стекаетъ внизъ и по охлажденіи представляетъ стекловидную массу, которую называютъ *шлакомъ*. Такимъ образомъ, при помощи извести въ печи, образовалась желѣзная окись, которая въ прикосновеніи съ углемъ разлагается на чистое желѣзо и кислородъ, соединяющійся съ углеродомъ и образующій окись углерода; послѣдняя, какъ тѣло газообразное, улетаетъ, а желѣзо получается въ чистомъ видѣ. Металлургическій процессъ, имѣющій цѣлью отдѣленіе металла отъ кислорода, называется, какъ мы уже говорили, *возстановленіемъ* металла.

Если же руда состоитъ изъ соединенія металла съ сѣрою, какъ напр. въ свинцовомъ блескѣ, то возстановленію металла должно предшествовать обжиганіе руды. При высокой температурѣ и при доступѣ воздуха свинцовый блескъ, состоящій, какъ мы видѣли, изъ свинцу и сѣры, разлагается; сѣра соединяется съ кислородомъ, образуетъ сѣрнистую кислоту, которая улетучивается въ видѣ газа; свинецъ также соединяется съ кислородомъ и даетъ свинцовую окись. Дальнѣйшая же обработка производится точно также какъ и въ предъидущемъ случаѣ. Надобно замѣтить, что добываніе многихъ металловъ въ чистомъ видѣ не такъ легко, какъ въ приведенныхъ нами примѣрахъ, хотя общіе пріемы при этихъ работахъ болѣе или менѣе приводятся къ однимъ началамъ.

Свойство органич. соединеній.

§ 234. Какъ мы уже говорили въ самомъ введеніи, всѣ тѣла природы дѣлятъ на неорганическія и органическія, и къ первымъ относятъ минералы, а къ послѣднимъ растенія и животныхъ.

Главнѣйшее отличіе органическихъ тѣлъ въ химическомъ отношеніи заключается въ томъ, что тѣла эти, при дѣйствіи на нихъ различныхъ силъ, разлагаются на составныя части легче противу тѣлъ неорганическихъ. Чѣмъ изъ большаго числа простыхъ тѣлъ состоитъ органическое соединеніе, тѣмъ легче послѣднее разлагается отъ дѣйствія одной и той же причины. Чтобы опредѣлить химическія



свойства и самый составъ органическихъ тѣлъ, химики подвергали ихъ дѣйствію различныхъ веществъ и силъ, такъ напр. дѣйствію кислорода, хлора, брома, іода, дѣйствію кислотъ, щелочей и окисловъ тяжелыхъ металловъ. Точно также подвергали органическія тѣла вліянію теплоты. Въ краткомъ обзорѣ мы не можемъ здѣсь показать результатовъ, производимыхъ каждымъ вліяніемъ, но должны ограничиться главнѣйшими изъ нихъ.

Между органическими тѣлами, подобно тому какъ и между неорганическими, есть много такихъ, которыя, вслѣдствіе дѣйствія теплоты, не разлагаясь, переходятъ въ пары. Но если полученные пары пропускать чрезъ сильно накаленную трубку, то они разлагаются на неорганическія составныя части, напр. воду, окись углерода, углекислоту, углеродъ, водородъ, азотъ и т. д.

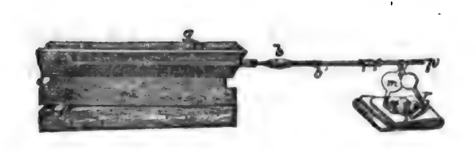
Отъ примѣси песку, кремнія и др. подобныхъ тѣлъ, органическія тѣла, вслѣдствіе дѣйствія теплоты, подвергаются легчайшему разложенію; это происходитъ отъ того, что примѣси нагрѣваются сильнѣе остальной массы и потому дѣйствуютъ на образовавшіеся пары точно такъ, какъ сильно накаленная трубка.

Но болѣе важное вліяніе для химическаго анализа оказываютъ на органическія тѣла металлическіе окислы и преимущественно такіе, которые при нагрѣваніи легко освобождаютъ кислородъ. При нагрѣваніи и при содѣйствіи кислорода органическія тѣла совершенно разлагаются на неорганическія части: углекислоту, воду, азотъ и др. Съ помощію подобныхъ изслѣдованій нашли, что органическія тѣла состоятъ изъ слѣдующихъ простыхъ тѣлъ: углерода, водорода, кислорода и азота; углеродъ встрѣчается рѣшительно во всѣхъ органическихъ тѣлахъ, въ соединеніи съ кислородомъ или водородомъ; азотъ рѣже входитъ въ составъ органическихъ соединеній, чѣмъ кислородъ и водородъ, еще рѣже сѣра или фосфоръ и, наконецъ, чрезвычайно рѣдко находятъ въ органическихъ тѣлахъ хлоръ, бромъ, іодъ, мышьякъ и нѣкоторыя другія тѣла.

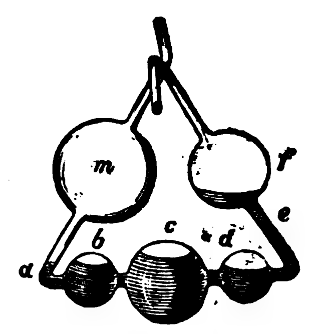
§ 235. Покажемъ здѣсь ходъ количественнаго анализа органическихъ тѣлъ. Мы уже сказали, что отъ сожиганія органическихъ тѣлъ съ металлическими окислами, легко отдѣляющими кислородъ, происходитъ разложеніе органическихъ тѣлъ на неорганическія части. Это совершается слѣдующимъ образомъ. Отдѣлившійся кислородъ металлическаго окисла соединяется съ водородомъ и углеродомъ органическихъ тѣлъ: съ первымъ онъ даетъ воду, а съ послѣднимъ углекислоту. Чтобы опредѣлить оба послѣдніе продукта, приводятъ изслѣдуемое тѣло въ соединеніе съ такими веществами, которыя легко поглощаютъ какъ воду, такъ и углекислоту; для воды берутъ хлористый кальцій или крѣпкую сѣрную кислоту, а для углекислоты — ѣдкое кали. Приращенія вѣса хлористаго кальція и ѣдкаго кали укажутъ, какое количество воды и углекислоты образовалось при сгараніи органическаго тѣла. Анализъ органическихъ тѣлъ.

Самый же анализъ производится слѣдующимъ образомъ. Данное органическое тѣло стираютъ въ порошокъ, высушиваютъ, взвѣшиваютъ, смѣшиваютъ съ извѣстнымъ количествомъ вѣса мѣдной окиси (CuO) и всыпаютъ въ стеклянную трубку, запаянную съ одного конца. Трубка эта кладется въ особенную печь, гдѣ она подвергается нагрѣванію (фиг. 789). Открытый конецъ этой трубки сооб-

Фиг. 789.



Фиг. 790.



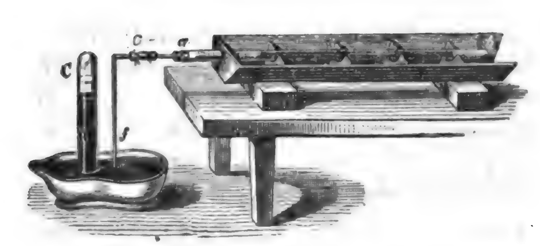
щается съ другою трубкою *bb'*, въ которой находится хлористый кальцій; послѣдняя трубка въ свою очередь соединяется, посредствомъ каучука, съ изогнутою трубкою, имѣющею 5 шариковъ (фиг. 790). Въ трехъ изъ этихъ шариковъ налито ѣдкое кали. По установленіи надлежащимъ образомъ прибора, трубка, заключающая мѣдный окиселъ и органическое тѣло, накаливается; при чемъ окись разлагается на мѣдь и кислородъ. Одна часть кислорода, въ соединеніи съ водородомъ органическаго тѣла, образуетъ воду, пары которой поглощаются хлористымъ кальціемъ въ средней трубкѣ, а другая часть кислорода даетъ, въ соединеніи съ углеродомъ, углекислоту, превращающую ѣдкое кали въ углекислое кали. По окончаніи опыта, т. е. когда углекислота уже не отдѣляется, взвѣшиваютъ трубки съ хлористымъ кальціемъ и ѣдкимъ кали. Если приборы эти были взвѣшены до начала опыта, то легко опредѣлить вторичнымъ взвѣшеніемъ, сколько образовалось углекислоты и воды при сожиганіи органическаго тѣла. Зная пай каждаго изъ этихъ тѣлъ, легко уже опредѣлить вычисленіемъ, сколько въ данномъ тѣлѣ было по вѣсу водорода и углерода.

Если данное органическое тѣло состоитъ только изъ углерода, водорода и кислорода, то количество послѣдняго опредѣляется разностію между вѣсомъ всего органическаго тѣла, опредѣленнымъ до опыта, и вѣсомъ найденныхъ въ немъ углерода и водорода.

Если же органическія вещества заключаютъ въ тоже время *азотъ*, то опредѣленіе водорода и углерода требуетъ нѣкоторыхъ особенныхъ предосторожностей. Часть азота дѣлается свободною при сожиганіи органическаго тѣла вмѣстѣ съ окисью мѣди и не мѣшаетъ дальнѣйшему ходу анализа. Другая же часть азота превращается въ азотную окись, которая, въ прикосновеніи съ кислородомъ воздуха, даетъ азотистую кислоту. Послѣдняя кислота, въ видѣ газа, перехо-

дитъ частію къ хлористому кальцію, а частію къ ѣдкому кали, и сгущаясь тамъ, мѣшаетъ точности анализа. Обстоятельство это устраняютъ помѣщеніемъ возлѣ открытаго отверстія накаливаемой трубки слоя металлической мѣди (фиг. 791). Послѣдняя, накаливаясь, разлагаетъ азотную окись и дѣлаетъ свободнымъ азотъ; образовавшаяся же вода и углекислота не претерпѣваютъ отъ мѣди никакого измѣненія. Стоитъ только приставить газопроводную трубку и собрать тогда азотъ надъ ртутію подъ колоколъ, раздѣленный на мѣры равной емкости.

Фиг. 791.



Прочія простыя тѣла, какъ напр. сѣра, фосфоръ и др., встрѣчаются очень рѣдко въ органическихъ соединеніяхъ и потому мы умалчиваемъ объ анализѣ ихъ.

§ 236. Кромѣ описанныхъ нами разложеній, въ органическихъ тѣлахъ происходитъ также, такъ называемое, *свободное разложеніе органическихъ тѣлъ.* Свободное разложеніе органич. тѣлъ.

Самыя сложныя органическія соединенія, при извѣстныхъ обстоятельствахъ, подобно нѣкоторымъ неорганическимъ тѣламъ, распадаются на составныя части, которыя въ свою очередь могутъ также разлагаться при вліяніи новыхъ обстоятельствъ. Это, такъ сказать, свободное разложеніе органическихъ тѣлъ называютъ *гніеніемъ*. Для образованія гніенія необходимы извѣстныя условія, съ отсутствіемъ которыхъ не происходитъ обнаруженія его. Такъ напр. гніеніе совершается только при извѣстной температурѣ, между 0° и 100° Ц., и преимущественно между 20—30° Ц. Оно прекращается при температурѣ замерзанія и кипѣнія; происходитъ только въ присутствіи воды и требуетъ участія кислорода, хотя при самомъ началѣ своемъ; такъ напр., если началось гніеніе, то удаленіе кислорода отъ разлагающагося тѣла не остановитъ разложенія его. На изложенныхъ нами началахъ основанъ способъ сбереженія пищи, предложенный Аппертомъ и заключающійся въ сохраненіи веществъ, подверженныхъ гніенію, въ герметически закупоренныхъ жестяныхъ ящикахъ. Для этого подвергаютъ вещества кипяченію и по удаленіи паровъ, которые выгоняютъ воздухъ изъ ящика, быстро закупориваютъ послѣдній герметически. Находящіяся въ ящикахъ вещества сохраняются до тѣхъ поръ, пока кислородъ не имѣетъ къ нимъ доступа; съ прикосновеніемъ же кислорода начинается гніеніе, которое прекращается съ нагрѣваніемъ пищи до температуры кипѣнія

Къ веществамъ наиболѣе подверженнымъ гніенію относятся составныя части животныхъ и растеній, обладающія преимущественно азотомъ и сѣрою, и извѣстныя подъ названіемъ бѣлковинныхъ веществъ, какъ напр. бѣлковина, казеинъ, мускулы и т. д.

Продукты, получаемые при гніеніи, подобны тѣмъ, которые происходятъ отъ дѣйствія на тѣже тѣла сильныхъ кислотъ и основаній. Соединеніе тѣлъ, подверженныхъ гніенію, съ металлическими солями предотвращаетъ разложеніе.

Броженіе. § 237. Если тѣло во время гніенія привести въ прикосновеніе съ другимъ органическимъ тѣломъ, неспособнымъ обнаруживать гніенія, то и послѣднее тѣло подвергается разложенію. Произведенное такимъ образомъ разложеніе втораго тѣла называютъ *броженіемъ*, а тѣло находящееся въ гніеніи и производящее гніеніе называется *ферментомъ*. Ферментъ самъ по себѣ обыкновенно не принимаетъ участія въ разложеніи тѣла, обнаруживающаго броженіе.

Одно и тоже тѣло, смотря по роду фермента и по вліянію обстоятельствъ, бываетъ подвержено разнообразнымъ разложеніямъ и даетъ поэтому различные продукты броженія. Такъ напр. тростниковый сахаръ, отъ прикосновенія съ различными ферментами, превращается въ виноградный сахаръ, въ маннитъ, въ спиртъ и др. тѣла.

Для опредѣленнаго, извѣстнаго разложенія, каждое тѣло требуетъ извѣстнаго состоянія самаго фермента.

Но кромѣ самаго фермента на продукты, образующіеся при броженіи, имѣетъ значительное вліяніе и температура.

Если тѣло, находящееся въ состояніи гніенія, прикасается къ кислороду, то послѣдній принимаетъ участіе въ разложеніи и тѣло, при пониженіи температуры, подвергается окисленію. Такъ напр. спиртъ при подобныхъ обстоятельствахъ переходитъ въ уксусъ. Обстоятельства благопріятствующія этому окисленію суть: 1) ферментъ, 2) присутствіе кислорода и 3) извѣстная температура. Всѣ обстоятельства, уничтожающія гніеніе, прекращаютъ также и окисленіе.

Изомерность органич. соединеній. § 238. Въ тѣлахъ неорганической природы попадаются соединенія *изомерныя*, т. е. соединенія, которыя при одинаковомъ химическомъ составѣ и одинаковомъ вѣсѣ составныхъ частей, имѣютъ различныя свойства и различный видъ. Въ тѣлахъ органическихъ такія соединенія попадаются весьма часто. Какъ въ томъ, такъ и въ другомъ случаѣ различіе основывается, по всей вѣроятности, на самомъ различіи группировки атомовъ.

Теорія органич. соединеній. § 239. Изученіе органическихъ соединеній, по ихъ разнообразію, гораздо труднѣе изученія состава тѣлъ неорганическихъ. Какъ всякое изученіе становится лишь тогда только удобнымъ, когда оно приведено въ систему, поэтому и органическія тѣла старались привести въ систематическій порядокъ, который очевидно долженъ основываться на различіи составныхъ частей этихъ тѣлъ и на различіи расположенія послѣднихъ. Объ образѣ соединенія составныхъ частей органическихъ тѣлъ, въ настоящее время, существуютъ 3 теоріи:

1) Теорія радикаловъ.
2) Теорія замѣщеній или типовъ.
3) Теорія ядеръ.

Изслѣдованія Берцеліуса и потомъ Либиха привели ихъ къ тому заключенію, что органическія вещества составлены по тѣмъ же простымъ законамъ, какъ и тѣла неорганическія, такъ напр. можно принять, что простая группа

атомовъ углерода и водорода составляетъ какъ бы начало, совершенно подобное по своимъ соединеніямъ съ простымъ тѣломъ или радикаломъ химіи неорганической. Для примѣра сравнимъ калій со сложнымъ радикаломъ эѳилемъ, котораго химическій составъ = C_4H_5 и обозначается знакомъ Ae.

Калій.	*Эѳиль.*
Окись калія (кали)	Окись эѳиля (эѳиръ)
Водное кали	Водная окись эѳиля (спиртъ)
Двусѣрнокислое кали	Двусѣрнокислая окись эѳиля
Уксуснокислое кали	Уксуснокислая окись эѳиля (уксусный эѳиръ)
Хлористый калій.	Хлористый эѳиль (соляной) эѳиръ.

Значитъ сложный радикалъ, въ органической химіи, составляетъ совершенную аналогію съ простымъ радикаломъ химіи неорганической; поэтому, если бы мы могли найти радикалы всѣхъ органическихъ тѣлъ, тогда бы изложеніе органической химіи, было бы совершенно сходно съ изложеніемъ химіи неорганической, потому что, придерживаясь теоріи радикаловъ, сначала говоримъ объ его свойствахъ и добываніи радикаловъ, а потомъ объ соединеніяхъ ихъ между собою. Нѣкоторые сложные радикалы состоятъ изъ углерода и водорода, какъ напр. формиль, ацетиль и др. Есть радикалы ипотетическіе, т. е. такіе, которые до сихъ еще не получены въ чистомъ видѣ; но тѣмъ не менѣе существуютъ соединенія этихъ радикаловъ. Нѣкоторые радикалы разсматриваются какъ металлоиды, таковъ напр. синеродъ; другіе же какъ металлы, напр. эѳиль, меѳиль и др.

Теорія типовъ, одолженная своимъ происхожденіемъ французскому химику Дюма, заключается въ слѣдующемъ: если изъ какого нибудь органическаго соединенія выдѣлится какая либо часть его, состоящая изъ простаго или сложнаго тѣла (исключая углерода) и мѣсто выдѣлившейся части заступитъ другое какое нибудь тѣло или соединеніе по числу паевъ равное съ выдѣлившимся, то соединеніе вновь образовавшееся съ прежнимъ, относится къ одному типу; потому что тѣла эти обыкновенно имѣютъ сходныя физическія и химическія свойства. Слѣдовательно къ одному типу относятся собственно тѣла, имѣющія одинаковое число и расположеніе паевъ, напримѣръ альдегидъ и хлораль принадлежатъ къ одному типу.

Французскій химикъ Лоранъ относитъ тѣла, взаимно превращающіяся другъ въ друга и содержащія одинаковое число паевъ углерода, къ одному первоначальному тѣлу, которое и называетъ *ядромъ*. Ядро называется основнымъ, если оно состоитъ изъ углерода и водорода; если же водородъ весь или отчасти замѣненъ какими нибудь другими тѣлами, то ядро называется *производнымъ*. Всѣ химическія соединенія по теоріи ядеръ, происходятъ слѣдующимъ образомъ: a) отъ замѣщеній, совершившихся въ самомъ ядрѣ, но съ сохраненіемъ того же типа; b) отъ соединенія ядра съ другими веществами и c) отъ того и другаго вмѣстѣ.

Теорія ядеръ или зеренъ развита уже изъ теоріи типовъ.

§ 240. Не входя въ ближайшее изслѣдованіе органическихъ соединеній, мы дадимъ здѣсь понятіе о составныхъ частяхъ главнѣйшихъ растительныхъ и животныхъ тѣлъ и объяснимъ процессъ питанія какъ растеній, такъ и животныхъ. Химическое изслѣдованіе растеній.

Всѣ части растенія состоятъ изъ *клѣточекъ*. Каждая клѣточка имѣетъ видъ небольшаго замкнутаго со всѣхъ сторонъ пузырька, форма котораго при самомъ началѣ бываетъ шарообразная. Съ помощію увеличительнаго стекла нашли, что всѣ части растенія, невзирая на свое разнообразіе, образуются отъ соединенія множества клѣточекъ, имѣющихъ различный видъ. Вещество, изъ котораго состоятъ клѣточки, называется древесиной.

При дальнѣйшемъ изслѣдованіи находятъ, что внутри клѣточекъ заключаются жидкости, въ которыхъ растворены различныя тѣла. Часто находятъ въ растительныхъ клѣточкахъ также твердыя частицы, отдѣляющіяся изъ жидкости.

На этомъ основаніи изслѣдованіе растительныхъ тѣлъ должно собственно заключаться въ разсмотрѣніи *древесины* и *веществъ наполняющихъ внутренность клѣточекъ.*

Древесина, составляющая главнѣйшую массу въ растеніяхъ, не разлагается ни въ водѣ, ни въ другой жидкости. На этомъ основана возможность отдѣлять отъ древесины прочія вещества, заключающіяся въ растеніи и растворимыя или въ водѣ, или въ другой жидкости. Очищенная вата и солома представляютъ уже довольно чистую древесину. При химическомъ анализѣ находятъ, что она состоитъ изъ 6 ч. углерода, 5 ч. водорода и 5 ч. кислорода ($C_6O_5H_5$). Древесина отъ дѣйствія огня сгараетъ и даетъ различныя газообразныя соединенія (воду и углекислоту), оставляя золу въ томъ случаѣ, если въ древесинѣ заключились неорганическія части. Но и при обыкновенной температурѣ происходитъ измѣненіе древесины, вслѣдствіе содѣйствія воздуха и воды. Если древесина въ видѣ дерева, соломы или листьевъ находится долгое время на воздухѣ, то она поглощаетъ въ себя влажность и принимаетъ постепенно бурый цвѣтъ. Образующійся при этомъ процессъ одинаковъ съ горѣніемъ, съ тою только разницею, что послѣдній совершается скоро, а первый весьма продолжительно.

При разложеніи, происходящемъ на воздухѣ, образуется также вода и углекислота.

Бурая или темная масса, происходящая отъ разложенія растительныхъ веществъ, какъ напр. травы, соломы, листьевъ и корней растеній, называется *черноземомъ.*

Черноземъ, весьма важный для хлѣбопашества, образуется постоянно тамъ, гдѣ происходитъ разложеніе растительныхъ веществъ, такъ напр. въ лѣсахъ отъ разложенія падающихъ листьевъ и на такихъ поляхъ, гдѣ не собираютъ растеній. Мало по малу разлагаются и черноземъ, оставляя послѣ себя небольшой остатокъ неорганическихъ тѣлъ, которыя остаются послѣ горѣнія въ видѣ золы.

Если растенія находятся въ водѣ и разложеніе происходитъ подъ водою, препятствующею доступу наружнаго воздуха, какъ напр. въ прудахъ и болотахъ, то въ такомъ случаѣ совершается *гніеніе.* И въ этомъ случаѣ кислородъ, находящійся въ древесинѣ, образуетъ съ водородомъ воду, а съ углеродомъ углекислоту. Но какъ этого кислорода находится немного и воздухъ, находящійся надъ водою, не можетъ пополнять количества его, то часть водорода соединяется съ кислородомъ и даетъ болотный газъ. Поэтому послѣ гніенія растеніе разлагается на воду, углекислоту и болотный газъ. И при этомъ случаѣ получается остатокъ, подобный чернозему и называемый торфомъ, который въ теченіи годовъ продолжаетъ также свое разложеніе. Что торфъ дѣйствительно происходитъ отъ гніенія болотныхъ

растеній, мы можемъ убѣдиться на молодомъ торфѣ, гдѣ бываютъ даже видны слѣды растеній, изъ которыхъ онъ образовался.

Древесина имѣетъ много примѣненій въ общежитіи: изъ ней приготовляются ткани для бѣлья, бумага и многія другія издѣлія.

§ 241. Перейдемъ теперь къ разсмотрѣнію веществъ, заключающихся въ клѣтчаткѣ. Для отдѣленія ихъ истираютъ и толкутъ части растеній, и потомъ обливаютъ водою или другими жидкостями, которыя въ состояніи растворить вещества, содержимыя въ клѣточкѣ. Вещества, заключающіяся въ клѣточкѣ.

Если растереть нѣсколько картофельныхъ клубней по облитіи водою, выжимать, полученную такимъ образомъ, массу въ холщевой тряпочкѣ, то получимъ мутную жидкость, которая по отстоѣ дѣлается прозрачною и даетъ на днѣ сосуда осадокъ, называемый *крахмаломъ*. Жидкость удаляется прочь, а полученный осадокъ высушивается.

Если кипятить слитую жидкость, то при началѣ закипанія она мутится и при дальнѣйшемъ кипѣніи даетъ клочкообразное сѣроватое тѣло, которое отдѣляется отъ остальной жидкости съ помощію процѣживанія. Полученное такимъ образомъ тѣло называется *растительной бѣлковиной*. Такимъ образомъ картофель, кромѣ древесины, оставшейся въ тряпочкѣ, заключаетъ два другія тѣла, изъ которыхъ одно нерастворимо въ водѣ — крахмалъ, а другое свертывается при кипяченіи воды—растительная бѣлковина. Первое изъ этихъ двухъ тѣлъ состоитъ изъ углерода, водорода и кислорода, а послѣднее, т. е. растительная бѣлковина, кромѣ того заключаетъ еще азотъ.

Если оставить на нѣсколько дней въ водѣ горсть гороху, то она разбухнетъ, послѣ того растираютъ горохъ и приливаютъ столько воды, чтобы получилась масса на подобіе жидкой каши. Массу эту выжимаютъ въ тряпочкѣ и поступая по предъидущему, получаютъ крахмалъ и растительную бѣлковину. Если же въ жидкость, изъ которой въ осадкѣ получился крахмалъ, а по кипяченіи и процѣживаніи—растительная бѣлковина, влить нѣсколько капель кислоты, то отдѣляется еще тѣло, имѣющее видъ бѣлыхъ клочьевъ и называемое *растительнымъ казеиномъ*. Тѣло это содержитъ также азотъ, но не можетъ быть отдѣлено подобно бѣлковинѣ чрезъ кипяченіе, а требуетъ для своего образованія участія кислоты.

Если сдѣлать тѣсто изъ пшеничной муки и воды и потомъ выжимать его въ тряпочкѣ, постоянно приливая воды до тѣхъ поръ, пока стекающая жидкость не утратитъ молочнаго цвѣта, то мы найдемъ въ послѣднемъ присутствіе крахмала и растительной бѣлковины. Въ тряпочкѣ же вмѣстѣ съ древесиной остается вязкая, клейкая масса, называемая *растительнымъ клеемъ*. Растительный клей содержитъ также азотъ, но не растворяется въ водѣ.

Мы выбрали нарочно такіе опыты, которые могли познакомить насъ съ растительными веществами, играющими важнѣйшую роль между тѣлами, служащими пищею человѣку и животнымъ.



Они раздѣляются на

1) *безазотистыя тѣла:*

древесина и

крахмалъ;

2) *азотистыя тѣла:*

растительная бѣлковина,

казеинъ и

растительный клей.

Вещества эти заслуживаютъ особеннаго вниманія.

Безазотистыя тѣла. § 242. О древесинѣ мы уже говорили выше.

Крахмалъ $= C_6H_5O_5$ заключается во многихъ частяхъ растеній, преимущественно зернахъ хлѣбныхъ растеній, въ картофели, во многихъ плодахъ (яблокахъ, грушахъ), въ сердцевинѣ пальмы, въ меньшемъ количествѣ въ корѣ и сердцевинѣ другихъ деревьевъ, равно какъ и въ корняхъ (отъ осени до весны).

Въ холодной водѣ крахмалъ нерастворимъ, а въ кипяткѣ даетъ студенистую массу, которая, какъ извѣстно, употребляется для склеиванія и для бѣлья; крахмалъ, находящійся въ торговлѣ, преимущественно добывается изъ картофеля и пшеничной муки.

Крахмалъ есть собственно чистѣйшая мука.

Если нагрѣвать смоченный крахмалъ въ ложкѣ, постоянно мѣшая его до тѣхъ поръ, пока онъ не будетъ сухъ, то получаются твердые шарики, которые отъ облитія водою взбухаютъ и дѣлаются студенистыми — это *саго*. Разбуханіе риса и другихъ растительныхъ веществъ, употребляемыхъ для питанія, основано на содержаніи въ нихъ азота.

Крахмалъ превращается въ камедь и сахаръ: это достигается съ помощію нагрѣванія крахмала съ водою и участія сѣрной кислоты, которая удаляется потомъ отъ прибавленія къ нагрѣваемой жидкости мѣлу; послѣдній даетъ съ сѣрной кислотою нерастворимый осадокъ — *гипсъ*. Для полученія камеди необходимо слабое, а для сахара — сильнѣйшее нагрѣваніе; въ первомъ случаѣ нагрѣвается вода съ крахмаломъ и приливается потомъ кислота, а во второмъ случаѣ прибавляется крахмалъ къ смѣси воды съ сѣрной кислотою.

Камедь есть вещество, дающее въ водѣ прозрачный, клейкій растворъ.

Въ зернахъ хлѣбныхъ растеній находится вещество *діастазъ*, обладающее также способностію превращать крахмалъ въ камедь и сахаръ. Вещество это получается на пивоваренныхъ заводахъ изъ солода.

Подобныя измѣненія совершаются сами собою въ растеніяхъ, такъ напр. яблоки и груши въ неспѣломъ состояніи заключаютъ крахмалъ. По созрѣваніи ихъ крахмалъ исчезаетъ и сладкій вкусъ плодовъ показываетъ, что онъ превратился въ камедь и сахаръ.

Азотистыя тѣла. § 243. *Азотистыя вещества*, называемыя также *бѣлковинными*, сходны между собою въ томъ отношеніи, что кромѣ углерода, водорода и кислорода заключаютъ азотъ и незначительное количество

сѣры, а иногда и фосфора. На 100 частей одного изъ этихъ тѣлъ находится 53 ч. углерода, 7 ч. водорода, 22 ч. кислорода, 16 ч. азота и $^1/_2$—2 ч. сѣры.

Замѣчательно, что эти тѣла, подобно предъидущимъ, заключаются не только въ растеніяхъ, но входятъ въ составъ мяса, мозга и другихъ животныхъ веществъ.

Въ растеніяхъ и животныхъ они *первоначально* растворены въ водѣ, слѣдовательно находятся въ жидкомъ состояніи; при вліяніи же химической дѣятельности, совершаемой въ организмѣ, и при содѣйствіи теплоты они переходятъ въ твердое, нерастворимое состояніе.

Бѣлковина, первоначально растворимая въ водѣ, отъ нагрѣванія дѣлается твердою и нерастворимою; она содержитъ въ примѣси незначительное количество фосфора. Овощныя растенія, равно какъ и маслянистыя сѣмена маку, полевой рѣпы, льну, наиболѣе богаты бѣлковиной. Въ особенности же изобилуютъ бѣлковиной яйца и кровь животныхъ. Она принадлежитъ къ числу питательныхъ веществъ и мы употребляемъ ее подъ различными формами.

Казеинъ, отличающійся отъ бѣлковины тѣмъ, что онъ свертывается въ водѣ только отъ содѣйствія кислоты, входитъ въ составъ гороху, бобовъ, чечевицы и вообще растеній покрытыхъ шелухой. Молоко заключаетъ также значительное количество казеина. Послѣдній свертывается тотчасъ отъ прилитія къ молоку нѣсколькихъ капель кислоты. Если молоко скиснетъ, то казеинъ превращается тотчасъ въ твердое состояніе. Свертываніе молока предупреждаютъ прилитіемъ къ нему нѣсколькихъ капель ѣдкаго кали.

Растительный клей въ водѣ совершенно не разлагается; онъ входитъ въ значительномъ количествѣ въ составъ зеренъ хлѣбныхъ растеній. Въ животныхъ тѣлахъ, подъ именемъ фибрина, онъ составляетъ красную массу мускуловъ или мяса. Изъ крови онъ отдѣляется при охлажденіи послѣдней.

§ 244. Всѣ эти тѣла подвержены также свободному разложенію. Разложеніе растит. тѣлъ. Возмемъ немного гороху, заключающаго преимущественно растительный клей и казеинъ, и обольемъ его въ бутылкѣ водою. Бутылку эту посредствомъ стеклянной трубки соединяютъ съ другою, въ которой налито немного воды. Если оставить обѣ бутылки въ тепломъ мѣстѣ, то составленная нами масса начнетъ разлагаться, при чемъ въ бутылку съ водою будутъ переходить пузырьки воздуха. Приливая въ послѣднюю бутылку немного известковой воды, найдемъ присутствіе *углекислоты*, а съ помощію другаго пріема найдемъ также присутствіе *сѣрнистаго водорода*. Кромѣ того можно доказать, что въ бутылкѣ съ горохомъ происходитъ отдѣленіе *аммiака*.

Изъ этихъ опытовъ видно, что азотистыя тѣла должны состоять изъ углерода, кислорода, водорода, азота и сѣры. При разложеніи азотистыхъ веществъ

кислородъ съ углеродомъ даетъ углекислоту,
водородъ съ сѣрою » сѣрнистый водородъ,
водородъ съ азотомъ » амміакъ.

Амміакъ и сѣрнистый водородъ производятъ преимущественно тотъ непріятный запахъ, который обыкновенно распространяется азотистыми тѣлами при гніеніи; по этому запаху узнаются также азотистыя тѣла.

Такимъ образомъ химія показываетъ намъ, что, кромѣ вещества составляющаго клѣтчатку, главнѣйшія составныя части всѣхъ растеній и животныхъ суть:

крахмалъ,
камедь, } безазотистыя вещества,
сахаръ,
бѣлковина,
казеинъ, } азотистыя вещества,
растительный клей,

и что эти вещества состоятъ частію изъ углерода, водорода и кислорода, частію также и изъ азота и сѣры (фосфора). Во все продолженіе существованія растенія и животнаго, составъ этихъ веществъ поддерживается взаимною дѣятельностію всѣхъ частей каждаго органическаго тѣла. Съ прекращеніемъ этой дѣятельности или, лучше сказать, съ прекращеніемъ существованія органическаго тѣла, происходитъ разложеніе веществъ, составлявшихъ его. Кислородъ воздуха, вода заключающаяся въ атмосферѣ, и теплота снаружи суть условія, содѣйствующія разложенію и помогающія гніенію растеній и животныхъ. Разложенныя тѣла даютъ снова соединенія уже простѣйшаго состава.

Вещества азотистыя разлагаются еще легче противу безазотистыхъ. Если безазотистое тѣло приходитъ въ прикосновеніе съ азотистымъ, уже находящимся въ гніеніи, то и первое начинаетъ также разлагаться. Замѣчательно при этомъ, что бѣлковина, казеинъ и растительный клей производятъ особенное разложеніе сахара.

Особен. части растеній. § 245. Мы не останавливаемся здѣсь на этихъ разложеніяхъ, производящихъ превращеніе сахара въ винный спиртъ, уксусъ и эѳиръ, а переходимъ къ краткому обозрѣнію тѣхъ *особенныхъ частей*, которыя принадлежатъ исключительно каждому роду растеній и обусловливаютъ особенный запахъ, вкусъ и другія качества послѣднихъ. Число этихъ частей, раздѣляемыхъ обыкновенно по химическимъ ихъ свойствамъ на кислоты, основанія, жиры, летучія масла, смолы и красящія вещества, весьма велико и мы только укажемъ на свойства важнѣйшихъ изъ нихъ.

Органическія кислоты. § 246. *Органическія кислоты*, встрѣчаемыя въ растеніяхъ, узнаются по кислому вкусу, который онѣ утрачиваютъ по соединеніи съ другими веществами. Многія изъ этихъ кислотъ, какъ напр. уксусная, весьма рѣдко попадаются готовыми въ сокѣ растеній, но получаются какъ продуктъ гніенія и сухой перегонки дерева или другихъ веществъ. Къ извѣстнѣйшимъ кислотамъ принадлежатъ: винная кислота $C_4H_2O_5$, лимонная кислота $C_{12}H_5O_{11}$, яблочная кислота $C_4H_2O_4$, дубильная кислота $C_9H_3O_5$ и т. д.

§ 247. *Къ органическимъ основаніямъ* относятъ тѣла легко соединяющіяся съ кислотами, для образованія составнаго тѣла. Они состоятъ почти всѣ изъ 3 или 4 простыхъ тѣлъ: углерода, водорода, азота и кислорода; нерастворимы въ водѣ; растворимы въ винномъ спиртѣ; не имѣютъ ни цвѣта, ни запаха; но большею частію горьки на вкусъ. Почти всѣ попадаются въ растеніяхъ отличающихся или ядовитыми или целѣбными своими свойствами; это заставляетъ насъ предполагать, что свойства послѣднихъ зависятъ отъ качествъ, заключающихся въ нихъ основаній. Въ растеніяхъ они соединены съ органическими кислотами и для полученія въ чистомъ видѣ должны быть отдѣлены отъ послѣднихъ. Къ числу основаній принадлежатъ хининъ, морфинъ, кофеинъ, никотинъ (въ табакѣ). Органическія основанія.

§ 248. *Жиръ* и *жирныя масла* извѣстны каждому, даже незанимающемуся химіею. Вещества эти употребляются въ пищу и для освѣщенія; въ жидкомъ состояніи ихъ называютъ *жирными маслами*, въ мягкомъ — собственно *жиромъ* и, наконецъ, въ болѣе твердомъ — *саломъ*. Жиръ и жирныя масла.

Они отличаются своею липкостію; не растворяются въ водѣ, а растворяются въ спиртѣ и преимущественно въ эѳирѣ. Масла на воздухѣ поглощаютъ кислородъ и пріобрѣтаютъ чрезъ то прогорьклый запахъ и вкусъ; нѣкоторыя изъ нихъ при этомъ густѣютъ, а другія твердѣютъ и высыхаютъ. Первыя изъ нихъ употребляются для подмазки, а послѣднія для лаковъ.

Масло испаряется затруднительно, даже и при содѣйствіи теплоты. При сильной степени жара начинаетъ оно кипѣть и переходитъ въ пары, состоящіе изъ разложеннаго масла. Въ этомъ состояніи оно горитъ, отдѣляя свѣтлое пламя; вотъ почему и употребляютъ масла для освѣщенія. Водой нельзя потушить горящаго масла или сала, потому что вода, вслѣдствіе жара, превращается мгновенно въ пары.

По химическому составу вещества эти состоятъ изъ углерода, водорода и гораздо менѣе кислорода; слѣдовательно принадлежатъ къ безазотистымъ веществамъ.

Жирныя кислоты весьма важны въ техническомъ отношеніи по соединеніямъ ихъ съ натромъ и кали для образованія *мыла*.

§ 249. Кромѣ жирныхъ маслъ встрѣчаются въ растеніяхъ, листьяхъ, цвѣтахъ и плодахъ, такъ называемыя, *летучія* или *эѳирныя масла*. Самое названіе произошло отъ способности ихъ постепенно испаряться. Одни изъ нихъ состоятъ изъ углерода и водорода, другія въ тоже время изъ кислорода, а нѣкоторые, кромѣ этихъ частей, заключаютъ еще сѣру и азотъ. Къ числу довольно извѣстныхъ маслъ принадлежатъ терпентинное, гвоздичное, розовое и многія другія. Летучія масла.

§ 250. Если летучее масло оставить въ продолженіи извѣстнаго времени на воздухѣ, то оно превращается мало по малу въ *смолу* — клейкое, нелетучее тѣло. Такъ наприм. если терпентинное масло $=C_{10}H_{16}$ подвержено извѣстное время дѣйствію воздуха, то одинъ пай Смолы.



кислорода съ паемъ водорода даетъ воду и остается $C_{10}H_{15}$. Къ этому присоединяется пай кислорода и получается смола $= C_{10}H_{15}O$.

Смолы распространены въ достаточномъ количествѣ въ растительномъ царствѣ. Если оторвать кусокъ коры отъ ели или сосны, то показываются наружу густыя, жидкія капли смолы, которыя спустя извѣстное время твердѣютъ на воздухѣ. Обыкновенно смолы находятся въ смѣшеніи съ летучими маслами, въ которыхъ онѣ растворяются. Этимъ объясняется жидкое состояніе смолъ; на воздухѣ летучія масла улетучиваются и смолы твердѣютъ. Примѣсь летучихъ маслъ служитъ причиною запаха смолъ. Смолы растворимы въ винномъ спиртѣ и не растворяются въ водѣ. Обыкновенно въ смолахъ заключается примѣсь воды, которая удаляется отъ нихъ нагрѣваніемъ; при этомъ получается прозрачная смола, называемая *канифолью*.

Смолы состоятъ изъ углерода, водорода и кислорода. На этомъ составѣ основывается горючесть ихъ; по причинѣ большаго содержанія водорода онѣ горятъ съ особенно сильнымъ пламенемъ; но въ тоже время даютъ много сажи, потому что при сильномъ горѣніи водорода происходитъ меньшее сгараніе углерода.

Красящія вещества. § 251. *Красящія вещества* служатъ причиною разнообразія цвѣтовъ, представляемыхъ намъ различными частями растеній. Составныя части ихъ соединены такъ слабо между собою, что разлагаются отъ дѣйствія свѣта и при высыханіи растеній. Хлоръ дѣйствуетъ на нихъ разрушительно. Химическій составъ красящихъ веществъ неопредѣленъ еще съ точностію и только немногія изъ нихъ удалось выдѣлить изъ растеній въ кристаллическомъ состояніи.

Неорганическія части растеній. § 252. Но кромѣ изложенныхъ нами веществъ, въ растеніяхъ заключаются еще другія *неорганическія тѣла*.

Мы уже говорили, что многочисленныя растительныя вещества составлены преимущественно изъ ограниченнаго числа простыхъ тѣлъ: кислорода, водорода, азота, углерода, сѣры и фосфора. Всѣ эти вещества при горѣніи соединяются и даютъ воздухообразные продукты. Если бы растенія состояли исключительно изъ этихъ простыхъ тѣлъ, то при горѣніи они бы должны были превращаться совершенно въ воздухообразныя тѣла. Опытъ же показываетъ намъ противное. Такъ напр., сожигая растеніе, мы получаемъ несгараемый остатокъ, называемый обыкновенно золою. По химическомъ изслѣдованіи послѣдней, кромѣ упомянутыхъ выше простыхъ тѣлъ, находимъ въ ней слѣдующія части: кали, натръ, известь, магнезію, желѣзную окись, также углекислоту, кремневую кислоту, сѣрную кислоту, фосфорную кислоту и соляную кислоту. Всѣ эти парныя соединенія принадлежатъ къ неорганическимъ тѣламъ. Въ золѣ всѣ они соединены различнымъ образомъ между собою и образуютъ много разныхъ солей. Изъ этого мы заключаемъ, что растенія должны заключать тѣ тѣла, изъ которыхъ образованы соли.

Но при этомъ должно замѣтить, что не во всѣхъ растеніяхъ встрѣчается одинаковое количество этихъ солей: въ одномъ родѣ растеній преобладаютъ однѣ, а въ другомъ — другія соли. Одинаковые же роды растеній даютъ одинаковыя соли и большею частію приблизительно въ одинаковомъ количествѣ. Изъ этого слѣдуетъ, что каждый родъ растеній требуетъ извѣстныхъ неорганическихъ веществъ для поддержанія своей жизни и что онъ не можетъ произрастать на такой почвѣ, гдѣ не заключается веществъ, прямо свойственныхъ роду растенія.

По содержанію золы земледѣльческія растенія раздѣляютъ на 1) *щелочныя растенія*, т. е. такія, въ золѣ которыхъ заключаются преимущественно соли кали и натра, какъ напр. картофель; 2) *известковыя растенія*, напр. горохъ; 3) *кремневыя растенія*, къ которымъ принадлежатъ травы, и 4) *фосфорныя растенія*, какъ рожь и пшеница. Но при этомъ раздѣленіи не должно предполагать, чтобы въ щелочныхъ растеніяхъ заключались только соли кали и натра, а въ известковыхъ растеніяхъ — известковыя соли. Кромѣ того не должно упускать изъ виду, что составныя части золы всегда составляютъ только малую часть всего вещества растеній.

§ 253. Перейдемъ теперь къ разсмотрѣнію *питанія растеній*. Изъ разсмотрѣнія состава растеній слѣдуетъ, что они подобно животнымъ должны принимать въ себя пищу. Это принятіе пищи совершается въ растеніяхъ чрезъ множество тонкихъ отверстій, невидимыхъ для глаза, невооруженнаго увеличительнымъ стекломъ. Изъ земли растенія принимаютъ пищу чрезъ посредство корня, между тѣмъ какъ листья служатъ имъ для сообщенія питающихъ веществъ съ атмосферою и для выдѣленія веществъ уже ненужныхъ для организма. Питаніе растенія.

Если поставить корень какого нибудь растенія въ сосудъ съ водою, то мы замѣтимъ, что количество воды уменьшится; если же только что отрѣзанную отъ дерева вѣтку съ листьями поставить подъ стеклянный колоколъ, то покажется влажность на внутреннихъ стѣнкахъ стекла. Ясно, что убыль воды въ первомъ случаѣ служитъ доказательствомъ поглощенія ея корнемъ, между тѣмъ какъ влажность на стѣнкахъ показываетъ, что листья выдѣляютъ отъ себя водяной паръ.

Только въ недавнее время опредѣлено, изъ какихъ веществъ состоитъ пища, принимаемая растеніями. На этотъ вопросъ ученые могли отвѣтить только тогда удовлетворительно, когда съ точностію были опредѣлены ими вещества, входящія въ составъ растеній.

Въ цѣлой природѣ мы не находимъ ни одного примѣра, чтобы какое нибудь тѣло могло образоваться само собою изъ ничего; тоже самое мы можемъ сказать и о тѣлахъ входящихъ въ составъ растеній, а это приводитъ насъ къ тому заключенію, что *растенія должны принимать въ пищу тѣ самыя тѣла, которыя входятъ составными частями въ ихъ организмъ*.



Всѣ же растительныя тѣла, за выключеніемъ незначительной примѣси неорганическихъ веществъ, встрѣчаемыхъ въ золѣ, состоятъ изъ углерода, водорода, кислорода и азота. Эти-то тѣла и должно принимать въ себя растеніе снаружи. Какимъ же путемъ входятъ въ организмъ растенія эти вещества? Для двухъ изъ нихъ легко найти удовлетворительный отвѣтъ. Каждое растеніе принимаетъ въ себя значительное количество воды, безъ которой оно, какъ показываетъ наблюденіе, существовать не можетъ. Вода же состоитъ изъ кислорода и водорода, и поэтому, принимая воду, растеніе будетъ принимать въ себя и эти вещества. Вотъ почему всякое растеніе требуетъ содѣйствія или дождя или поливанія. Кромѣ того ему служатъ также питаніемъ и водяные пары, заключающіеся въ воздухѣ. Этимъ объясняется важность росы для растеній въ жаркихъ климатахъ, гдѣ бываетъ недостатокъ въ дождяхъ. А какъ во многихъ случаяхъ растенія принимаютъ воды болѣе, нежели сколько нужно для ихъ питанія, то большая часть послѣдней отдѣляется чрезъ листья.

Углеродъ принимаютъ растенія въ видѣ *углекислоты*, доставляемой имъ атмосфернымъ воздухомъ и водою, падающею на нихъ въ видѣ дождя. Кромѣ того мы знаемъ, что черноземъ богатъ углекислотою, образующеюся въ немъ отъ разложенія тѣлъ; въ этомъ случаѣ углекислота всасывается корнемъ.

Количество углекислоты, поглощаемое растеніями изъ воздуха, доставляется послѣднимъ процессомъ дыханія животныхъ, равно какъ горѣніемъ и разложеніемъ различныхъ тѣлъ.

Остается теперь азотъ, необходимый для извѣстныхъ частей растеній. Это тѣло принимаютъ растенія въ видѣ амміака (NH_3), состоящаго, какъ мы уже знаемъ, изъ азота и водорода. При гніеніи и разложеніи органическихъ веществъ, отъ соединенія послѣднихъ тѣлъ всегда образуется амміакъ. Амміакъ этотъ соединяется съ углекислотою и даетъ углекислый амміакъ — газъ улетучивающійся въ воздухъ. Изъ воздуха падаетъ онъ съ дождемъ и снѣгомъ на землю, гдѣ всасывается черноземомъ, глиною и другими почвами, изъ которыхъ извлекается корнями растеній вмѣстѣ съ водою.

Поэтому вещества, составляющія питаніе растеній, состоятъ изъ

воды,
углекислоты и
амміака.

Эти вещества заключаютъ простыя тѣла, необходимыя для образованія растеній. Они разлагаются растеніями, посредствомъ неизвѣстнаго для насъ еще процесса, на простыя тѣла, изъ которыхъ уже образуются новыя вещества: крахмалъ, бѣлковина, растительный клей и др.

Какъ растенія принимаютъ въ себя два вещества, заключающія кислородъ, то легко догадаться, что растенія получаютъ болѣе кислорода, нежели сколько имъ необходимо. И въ самомъ дѣлѣ, излишній кислородъ выдѣляется растеніями. При *содѣйствіи свѣта* происходитъ въ растеніяхъ разложеніе углекислоты и выдѣленіе кислоро-

да. Такимъ образомъ кислородъ, извлекаемый изъ воздуха животными при дыханіи, возвращается снова въ атмосферу растеніями изъ поглощенной ими углекислоты.

Изъ сказаннаго нами слѣдуетъ, что всѣ вещества, принимаемыя для питанія растеніями, доставляются имъ воздухомъ. Какимъ же образомъ объяснить себѣ удобреніе полей, доставляющее, какъ показываетъ опытъ, большое пособіе урожаю растеній.

Это основывается на томъ, что растенія преимущественно питаются посредствомъ всасываній, производимыхъ корнями. Этому всасыванію наиболѣе содѣйствуетъ черноземъ, какъ такая почва, которая обнаруживаетъ особенную способность къ поглощенію изъ воздуха водяныхъ паровъ и амміака. Къ тому же должно присовокупить, что въ навозѣ и въ черноземѣ происходитъ постоянное разложеніе, вслѣдствіе котораго въ обоихъ этихъ тѣлахъ образуется вода, углекислота и амміакъ, прямо всасываемые корнями растеній.

Но при этомъ рождается еще вопросъ — отчего же извѣстнымъ родамъ растеній благопріятствуетъ одна, а не другая почва, не взирая на одинаковость климатическихъ условій? Отчего поле послѣ нѣсколькихъ лѣтъ постояннаго засѣва дѣлается негоднымъ для извѣстнаго рода растеній, тогда какъ другія растенія могутъ быть съ успѣхомъ обработываемы на немъ?

Для отвѣта на эти вопросы мы должны припомнить, что растенія заключаютъ въ себѣ такія неорганическія части, которыя не могутъ быть уже доставляемы имъ водою, углекислотою и амміакомъ. Мы говоримъ здѣсь о тѣхъ неорганическихъ соляхъ, которыя находятся въ золѣ растеній. Очевидно, что матеріялы и для этихъ тѣлъ должны быть принимаемы растеніями снаружи.

Эти вещества, какъ напр: известь, кремнеземъ, кали, натръ и др., принимаются растеніями изъ земли. И въ самомъ дѣлѣ, многія земли, находящіяся на земной поверхности, заключаютъ въ себѣ эти тѣла.

Земли подлежатъ процессу постояннаго разложенія, при которомъ образуются новыя соединенія, растворимыя въ водѣ; послѣднія же доставляетъ ихъ корнямъ растеній.

Какъ извѣстныя растенія требуютъ преимущественно кали, другія — натра, третія — извести, то очевидно, что каждому изъ этихъ растеній можетъ приличествовать наиболѣе та почва, въ которой заключается достаточное количество соотвѣтствующихъ ему веществъ и что растеніе не можетъ существовать на той почвѣ, гдѣ этихъ веществъ не достаетъ.

Поэтому, если хотятъ доставить растенію надлежащую почву, то должно сперва опредѣлить, какія соли заключаются въ его золѣ и потомъ изслѣдовать, заключаются ли эти соли въ достаточномъ количествѣ въ извѣстной почвѣ.

Точно также можно легко объяснить, почему извѣстный родъ растеній, дававшій въ продолженіи извѣстнаго времени урожай на одномъ и томъ же полѣ, наконецъ не можетъ произрастать съ успѣхомъ на той же почвѣ. Это прекращеніе успѣшнаго урожая произ-

ходитъ тогда, когда растенія извлекутъ изъ почвы всѣ вещества необходимыя для нихъ. Таже самая почва очевидно можетъ быть еще годна для другаго рода растеній, которыя требуютъ другихъ неорганическихъ частей, могущихъ еще заключаться въ почвѣ. Впослѣдствіи на той же почвѣ можетъ произрастать и первый родъ растеній, потому что современемъ, вслѣдствіе разложенія земель, можетъ образоваться въ нихъ новый запасъ веществъ, необходимыхъ этому роду растеній. На этомъ основана, такъ называемая, *плодопеременная* система хлѣбопашества, вслѣдствіе которой послѣ засѣва полей щелочными растеніями, должно сѣять на нихъ вторично кремневыя и т. д.

Чтобы дать почвѣ болѣе возможности къ произрастенію извѣстныхъ родовъ растеній, помогаютъ ей *удобреніемъ*.

Удобреніе заключается собственно въ доставленіи почвѣ такихъ минеральныхъ веществъ, какъ напр. известь, кали, натръ, кремнеземъ, фосфорная кислота и другія. На этомъ основаніи посыпаютъ поля известію, гипсомъ, древесною золою и т. п.; при этомъ очевидно должно имѣть въ виду, какой родъ веществъ соотвѣтствуетъ роду растеній, для котораго предназначается поле.

Пометъ животныхъ заключаетъ также упомянутыя нами выше соли и потому служитъ превосходнымъ средствомъ для удобренія полей и садовъ. Навозъ животныхъ, питающихся овсомъ, наиболѣе служитъ для посѣвовъ овса, потому что въ этомъ навозѣ заключаются именно тѣ соли, которыя необходимы для овса.

Питаніе животныхъ. § 254. Перейдемъ теперь къ химическому разсмотрѣнію животныхъ тѣлъ, и для того бросимъ бѣглый взглядъ на процессъ питанія животныхъ и преимущественно человѣка.

Жизнь животныхъ подобно жизни растеній представляетъ рядъ постоянныхъ, непрерывныхъ химическихъ процессовъ. Какъ человѣкъ, такъ и животныя принимаютъ въ себя извѣстныя вещества, которыя подвергаются въ организмѣ ихъ химическимъ измѣненіямъ и превращаются въ составныя части ихъ организмовъ. Пища, принимаемая ртомъ человѣка, проводится чрезъ особенный каналъ, называемый пищеводомъ, въ желудокъ. Въ самомъ рту пища смачивается слюною, а въ желудкѣ жидкостію, отдѣляемою стѣнками его и называемою *желудочнымъ сокомъ*. При выходѣ изъ желудка пища соединяется съ *желчью*, которая выработывается печенью, и съ *сокомъ*, такъ называемой, *поджелудочной железы*. Кромѣ того самая кожица кишечнаго канала сообщаетъ пищѣ различныя жидкости.

Всѣ эти жидкости, примѣшиваемыя къ пищѣ, растворяютъ ее и дѣлаютъ жидкою. Жидкости эти состоятъ изъ воды, въ которой растворены различныя кислоты и соли. Частицы пищи, нерастворяемыя водою, растворяются кислотами, а части нерастворимыя ими, не могутъ служить для питанія (за выключеніемъ жиру). Въ желудкѣ пища превращается въ однородную массу, называемую кашицею, которая разрѣжается въ кишечномъ каналѣ и при содѣйствіи, опи-

санныхъ нами жидкостей, преобразовывается наконецъ въ густой бѣлаго (молочнаго) цвѣта сокъ, называемый *млечнымъ сокомъ*. Этотъ сокъ всасывается стѣнками кишокъ, а изъ послѣднихъ особенными *млечными сосудами*, вѣтви которыхъ соединяются въ одинъ общій каналъ, называемый *грудным протокомъ*. Грудной протокъ соединяется съ одною изъ жилъ, проводящихъ кровь въ правую половину сердца. Химическое измѣненіе, претерпѣваемое сокомъ въ млечныхъ сосудахъ, постоянно приближаетъ его къ составу крови.

Такимъ образомъ *въ крови должны находиться составныя части тѣхъ веществъ, которыя мы принимаемъ въ пищу*.

Вслѣдствіе сжиманій сердца кровь, находящаяся въ лѣвой половинѣ его, вливается сперва въ большую жилу называемую *аортою*. Послѣдняя раздѣляется вскорѣ на многія меньшія трубки (артеріи), изъ которыхъ каждая развѣтвляется на мельчайшія части. Послѣднія вѣтви аорты, разносящія кровь къ мускуламъ, костямъ, кожѣ и другимъ частямъ организма, по чрезвычайной тонкости своей, называются *волосными сосудами*. Сосуды эти соединяются между собою и изъ соединенія ихъ образуются жилы, называемыя *венами*. Послѣднія образуютъ два различные ствола (нижній и верхній), изъ которыхъ кровь обратно вливается въ сердце, въ правую его сторону. Но кровь, заключающаяся въ венахъ, отлична отъ крови артерій, въ чемъ уже можно убѣдиться изъ самаго цвѣта ея: во первыхъ, она бываетъ темнокраснаго, а во вторыхъ, свѣтлокраснаго (алаго) цвѣта. Это преобразованіе крови произошло въ волосныхъ сосудахъ. Изъ стѣнокъ волосныхъ сосудовъ составныя части крови переходятъ къ частямъ тѣла примыкающимъ къ ихъ стѣнкамъ, мускуламъ, кожи, нервамъ, костямъ и др. Взамѣнъ того испорченныя вещества, отдѣляемыя этими частями, переходятъ во внутренность волосныхъ трубокъ и смѣшиваются тамъ съ кровію: такимъ образомъ въ волосныхъ сосудахъ происходитъ постоянное измѣненіе составныхъ частей крови. Вещества артеріяльной крови, удѣляемыя волосными сосудами кожѣ, костямъ, претерпѣваютъ въ послѣднихъ дальнѣйшія химическія измѣненія. Изъ нихъ образуются собственно кожа, кости и другія части тѣла. Эти части въ свою очередь подвержены измѣненіямъ: отдѣляемыя отъ нихъ вещества, какъ мы уже сказали, переходятъ въ венозную кровь.

Эти вещества всасываются изъ крови посредствомъ нѣкоторыхъ отдѣльныхъ органовъ и выдѣляются изъ организма (почками и др.). Отъ нѣкоторыхъ же частей кровь освобождается посредствомъ легкихъ. Послѣднее очищеніе крови совершается слѣдующимъ образомъ. Возвратившаяся въ сердце кровь прежде новаго своего обращенія направляется къ легкимъ. Множество вѣтвей жилъ, приводящихъ ее къ легкимъ, снова соединяются между собою и возвращаются къ лѣвой сторонѣ сердца. Легкія состоятъ собственно изъ вѣтвей дыхательнаго горла, къ которымъ примыкаютъ развѣтвленія тончайшихъ жилъ, идущихъ отъ сердца. Развѣтвленія горла и жилъ разъединяются между собою тончайшими плевами, въ которыхъ происходитъ процессъ эндосмоза

между кровію и наружнымъ воздухомъ, проникающимъ туда посредствомъ вдыханія. Изслѣдованія надъ выдыхаемымъ воздухомъ показали, что онъ отличается большимъ содержаніемъ углекислоты и водяныхъ паровъ и меньшимъ количествомъ кислорода.

Прежде полагали, что образованіе, выдѣляемой нами, углекислоты происходило въ легкихъ вслѣдствіе соединенія кислорода воздуха съ углеродомъ крови. Но точнѣйшія изслѣдованія, въ позднѣйшее время, показали, что венозная кровь, возвращающаяся къ сердцу, прежде достиженія легкихъ, заключаетъ въ себѣ достаточное количество углекислоты. Слѣдовательно въ легкихъ кровь выдѣляетъ углекислоту и поглощаетъ кислородъ. По принятіи кислорода кровь принимаетъ алый цвѣтъ и возвращается снова къ сердцу. При дальнѣйшемъ же своемъ движеніи въ волосныхъ сосудахъ кровь, какъ мы уже сказали, отдаетъ различнымъ частямъ тѣла питательныя вещества и въ замѣнъ того принимаетъ выдѣляющіяся отъ нихъ частицы, при разложеніи которыхъ образуется углекислота и вода.

Изъ всего сказаннаго нами слѣдуетъ, что *всѣ питательныя вещества предварительно превращаются въ кровь, изъ которой въ свою очередь принимаютъ питаніе всѣ части тѣла.*

Поэтому мы займемся прежде всего разсмотрѣніемъ химическаго состава крови.

Кровь. § 255. Кровь состоитъ изъ жидкости, въ которой плаваютъ частію пузырьки, заключающіе красное вещество внутри, а частію бѣлые, зернистые шарики. Какъ пузырьки, такъ и шарики, не могутъ быть замѣчены въ крови простымъ глазомъ безъ помощи увеличительнаго стекла.

Если дать отстояться крови отдѣленной отъ организма, то часть ея свертывается въ темнокрасную массу, между тѣмъ какъ остальная часть образуетъ желтую жидкость, называемую сукровицею или пасокою. При ближайшемъ изслѣдованіи темнокрасной массы находятъ, что она состоитъ изъ двухъ веществъ: изъ волокнистаго вещества (животнаго фибрина) и изъ цвѣтнаго вещества или, такъ называемыхъ, кровяныхъ шариковъ. Въ крови собственно свертывается волокнистое вещество, которое, при своемъ свертываніи, принимаетъ въ себя кровяные шарики, доставляющіе ему красный цвѣтъ. Сукровица состоитъ изъ *воды*, *бѣлковины* и *солей*. Наконецъ какъ въ темнокрасной массѣ, такъ и въ сукровицѣ, находятъ жиръ. Поэтому кровь состоитъ изъ *волокнистаго вещества*, *кровяныхъ шариковъ*, *воды*, *бѣлковины*, *солей* и *жиру*.

Волокнистое вещество или *животный фибринъ* есть вещество азотистое, имѣющее большое сходство съ растительнымъ клеемъ, называемымъ также растительнымъ фибриномъ. Замѣчательно, что животный фибринъ, во время нахожденія своего въ живомъ организмѣ, растворенъ въ крови, по отдѣленіи же отъ организма переходитъ въ твердое состояніе. Если взболтать свѣжую кровь по остынутіи, то фибринъ образуетъ волокнистую массу, которая, по смѣшеніи съ водою, дѣлается бѣлою и представляетъ большое подобіе съ

волокнами мускуловъ. Это наводитъ насъ на предположеніе, что изъ фибрина образуется мясо въ животномъ организмѣ и что самый фибринъ въ крови образуется изъ растительнаго клея питательныхъ веществъ.

Кровяные шарики суть пузырьки, состоящіе изъ бѣлой, прозрачной оболочки. Оболочка эта состоитъ изъ бѣлковинныхъ веществъ; внутри же шариковъ заключаются бѣлковина, соли, жиръ и красное окрашивающее вещество, находящееся въ соединеніи съ желѣзомъ и дающее крови красный цвѣтъ.

Бѣлковина, составляющая значительную часть крови, по химическому составу, сходна съ растительной бѣлковиной; поэтому мы можемъ легко понять, откуда получается въ крови бѣлковина. Если кипятить сукровицу, то заключающаяся въ ней бѣлковина свертывается точно также, какъ и растительная бѣлковина. Бѣлковина крови свертывается также отъ дѣйствія кислотъ, за выключеніемъ уксусной и фосфорной.

Соли, заключающіяся въ крови, бываютъ различныхъ родовъ, преимущественно фосфорнокислый и углекислый натръ; также сѣрнокислый натръ, фосфорнокислое, углекислое и сѣрнокислое кали, фосфорнокислая известь, фосфорнокислая окись желѣза и т. д. Вмѣстѣ съ этими солями находятся хлористый натрій (поваренная соль) и хлористый калій.

Жиръ заключается въ незначительномъ количествѣ въ крови. Жирная кислота находится при этомъ въ соединеніи съ кали или натромъ въ растворенномъ состояніи.

Въ крови человѣка на 1000 ч. вѣса заключается 2 ч. фибрина, 131 ч. шариковъ, 789 ч. воды, 71 ч. бѣлковины, 5 ч. солей и 2 ч. жиру.

§ 256. Всѣ эти части служатъ для питанія различныхъ органовъ животнаго организма, въ чемъ мы можемъ легко убѣдиться ближайшимъ разсмотрѣніемъ послѣднихъ. Начнемъ съ костей. Кости состоятъ собственно изъ $^1/_3$ ч. костянаго клея, студня и $^2/_3$ ч., такъ называемой, костяной земли. Послѣдняя получается въ томъ случаѣ, если подвергнуть кости дѣйствію огня до тѣхъ поръ, пока онѣ не сдѣлаются совершенно бѣлыми, т. е. пока не сгоритъ весь клей или наконецъ обливъ кости сильною щелочью, растворящею клей. Костяная земля состоитъ изъ фосфорнокислой извести и небольшаго количества углекислой извести, хлористаго натрія, магнезіи и фтористаго кальція, слѣдовательно костяная земля состоитъ собственно изъ *неорганическихъ* веществъ. Химич. составъ нѣкоторыхъ терд. частей тѣла.

Если облить кость въ стеклянномъ сосудѣ разведенной соляной кислотой, то послѣдняя растворяетъ мало по малу костяную землю и въ осадкѣ остается прозрачная, хрящеватая масса. Если подвергнуть эту массу кипяченію въ водѣ, то получается обыкновенный *костяной клей*. Онъ состоитъ изъ азота, углерода, водорода, кислорода и незначительной примѣси сѣры, слѣдовательно составъ клея подобенъ бѣлковинѣ.

Подобный же клей получается изъ хрящей и изъ частей, составляющихъ оболочку мускуловъ, нервовъ и костей.

На 100 лотовъ костей заключается въ нихъ 58,23 л. фосфорнокислой извести, 8,35 л. углекислой извести, 1,03 л. фосфорнокислой магнезіи, 0,92 л. растворимыхъ солей и 31,47 л. хрящей и жиру.

Мускулы составляютъ въ организмѣ человѣка массу мяса; они состоятъ изъ пучковъ тонкихъ нитей или волоконъ, отдѣленныхъ другъ отъ друга тончайшею кожицею. На кожицѣ, покрывающей мускулы, находится жиръ. Кромѣ того между мускулами находятся *нервы* и жилы, и вся масса мускуловъ пропитана водянистою жидкостію. Для опредѣленія составныхъ частей мускуловъ обливаютъ водою, приведенное въ мелкій видъ, мясо и послѣ извѣстнаго времени выжимаютъ мясо съ помощію холстяной тряпочки; такимъ образомъ отдѣляютъ жидкость отъ оставшейся въ тряпочкѣ твердой части мяса.

Если нагрѣть эту жидкость до 60° Ц., то въ ней образуются волокна, которыя по процѣживаніи представляютъ подобіе свернувшейся *бѣлковины*. Подвергая же нагрѣванію освобожденную отъ бѣлковины жидкость, получаютъ снова свернувшееся тѣло — это *фибринъ* и *красящее вещество крови*. Дальнѣйшее химическое изслѣдованіе показываетъ, что оставшаяся за тѣмъ жидкость состоитъ большею частію изъ воды и незначительнаго количества фосфорной кислоты, молочной кислоты, фосфорнокислаго и молочнокислаго кали и нѣкоторыхъ другихъ веществъ.

Для изслѣдованія, оставшейся въ тряпочкѣ, твердой части мяса, кипятятъ его въ теченіи нѣсколькихъ часовъ въ водѣ. Получаютъ растворъ, состоящій изъ клея, незначительнаго количества жиру и бѣлой твердой волокнистой массы, составляющей собственно волокна мяса и имѣющей подобный химическій составъ съ волокнами крови. Волокна образуютъ собственно составную часть мускуловъ, между тѣмъ какъ клей принадлежитъ покровамъ мускуловъ и другимъ частямъ. Бѣлковина и красящее вещество крови хотя и попадаются въ мускулахъ, но принадлежатъ также крови, пробѣгающей въ жилахъ между послѣдними. Тоже можно отнести и къ жиру.

Изъ сказаннаго нами слѣдуетъ, что масса, составляющая мясо, состоитъ изъ *азотистыхъ веществъ* (волокна, собственно бѣлковина, клей и др.), изъ *жиру*, различныхъ *солей*, хлорныхъ соединеній и значительнаго количества *воды*, т. е. изъ всѣхъ веществъ, входящихъ въ составъ крови. Каждая изъ частей нашего организма беретъ изъ крови тѣ вещества, которыя для ней наиболѣе необходимы; такъ напр. кости извлекаютъ преимущественно фосфорнокислую известь и клей, мускулы — волокна (фибринъ), нервы — бѣлковину и жиръ, а мозгъ, кромѣ того, фосфорнокислыя соли, и т. д.

Условія необходим. для питат. веществъ.

§ 257. Посмотримъ теперь, какимъ условіямъ должны удовлетворять тѣла, употребляемыя нами для питанія.

Всѣ вещества, изъ которыхъ состоитъ тѣло животнаго, должны быть доставляемы ему посредствомъ пищи, т. е. всѣ вещества, со-

ставляющія тѣло животнаго, должны находиться въ пищѣ. Изъ сказаннаго нами слѣдуетъ, что въ составъ различныхъ частей животнаго тѣла преимущественно входятъ слѣдующія простыя тѣла: *азотъ*, *углеродъ*, *водородъ*, *кислородъ*, *сѣра*, *фосфоръ*, *хлоръ*, *калій*, *натрій*, *кальцій*, *магній*, *глиній*, *кремній*, *желѣзо* и *фторъ*.

Значитъ, *первое условіе всякой пищи состоитъ въ томъ, чтобы въ ней заключались всѣ упомянутыя нами простыя тѣла.*

Здѣсь должно замѣтить, что эти тѣла, какъ мы уже видѣли, входятъ въ организмъ не отдѣльно, но въ составѣ опредѣленныхъ химическихъ соединеній, и эти-то химическія соединенія не могутъ быть составляемы организмомъ, но должны быть приготовлены въ самой пищѣ. Такъ напр. нашъ организмъ не въ состояніи самъ составить бѣлковину изъ азота, углерода, водорода, кислорода, сѣры и фосфора, но бѣлковина должна быть предварительно составлена для того, чтобы она могла войти въ составъ организма. Подобныхъ соединеній мы не въ состояніи составить даже искусственными средствами. Поэтому мы должны питаться или растительными или животными тѣлами, въ которыхъ заключаются эти части. Изъ этого вытекаетъ второе условіе для питательныхъ веществъ: *всѣ упомянутыя нами простыя тѣла должны образовать въ пищѣ такія соединенія, которыя необходимы для питающагося организма.*

На основаніи обоихъ этихъ условій, питательныя вещества раздѣляются на три класса:

1) на органическія азотныя питательныя вещества (бѣлковину, казеинъ, клей);
2) на органическія безазотныя вещества (сахаръ, жиръ), и
3) на неорганическія вещества (соли, хлорныя соединенія, воду).

Всѣ эти вещества конечно несовершенно соотвѣтствуютъ составнымъ частямъ крови. Въ этомъ случаѣ органы пищеваренія помогаютъ надлежащему преобразованію пищи. Такъ напр. бѣлковина переработывается организмомъ въ фибринъ крови, который отличается отъ бѣлковины тѣмъ, что онъ свертывается по удаленіи отъ организма.

Точно также подвержены преобразованіямъ вещества, доставляющія крови жиръ. Такъ напр. если въ питательныхъ веществахъ мы принимаемъ въ себя крахмалъ, то онъ превращается въ организмѣ сперва въ камедь, изъ камеди въ сахаръ, изъ сахара въ молочную кислоту, изъ молочной въ масляную и, наконецъ, послѣдняя, въ соединеніи съ основаніемъ жира, даетъ собственно жиръ, переходящій потомъ въ кровь. Этимъ послѣднимъ измѣненіямъ помогаютъ слюна и желудочный сокъ, превращающіе крахмалъ въ камедь и сахаръ, и желчь, переводящая сахаръ въ молочную и потомъ въ масляную кислоту.

Послѣ этого легко объяснить себѣ истинное значеніе обыкновенныхъ выраженій: *пища неудобоваримая* и *удобоваримая;* такъ напр. въ предшествовавшемъ примѣрѣ сахаръ болѣе легковаримая пища, нежели крахмалъ, а молочная и масляная кислоты удобоваримѣе са-

хара. Всѣ же составныя части пищи, которыя не могутъ быть преобразованы органами пищеваренія въ составныя части крови, негодны для питанія.

Для всѣхъ преобразованій пищи въ организмѣ необходимо, чтобы вещества были растворимы, потому что нерастворимыя вещества не могутъ быть принимаемы кровію. Слѣдовательно, *большая или меньшая удобоваримость питательныхъ веществъ зависитъ отъ большей или меньшей растворимости ихъ въ жидкостяхъ кишечнаго канала.*

Къ этому мы должны присовокупить еще третье условіе для питательныхъ веществъ, опредѣляемое самымъ составомъ крови. Такъ напр. мы должны выбирать пищу, которая заключаетъ болѣе бѣлковины нежели солей, болѣе солей нежели жиру или, говоря другими словами, болѣе азотныхъ нежели неорганическихъ и безазотныхъ веществъ. Однимъ словомъ, *питательныя вещества, заключающіяся въ пищѣ, должны подходить самымъ количествомъ по возможности ближе къ тѣмъ отношеніямъ, въ которыхъ они находятся въ крови.*

Но кромѣ питанія тѣла вещества, принимаемыя животными, имѣютъ также и другое назначеніе, заключающееся въ развитіи *теплоты*, необходимой для жизни животныхъ. Большая часть углерода, перешедшаго питаніемъ въ кровь, служитъ матеріяломъ для образованія углекислоты, и при этомъ соединеніи кислорода съ углеродомъ, какъ и при всякомъ горѣніи, происходитъ отдѣленіе теплоты. Этимъ объясняется то увеличеніе теплоты, которое мы ощущаемъ послѣ употребленія пищи, а равно какъ и то обстоятельство, почему зимою мы требуемъ болѣе пищи, нежели лѣтомъ. Для питанія тѣла служатъ преимущественно вещества богатыя азотомъ, какъ напр. мясо животныхъ; для развитія же теплоты преимущественно служатъ вещества, изобилующія углеродомъ, напр. животный жиръ, состоящій почти исключительно изъ углерода и водорода. Между растительными питательными веществами для питанія тѣла способны только азотистыя вещества, мука, стручкообразные плоды, тогда какъ безазотныя и богатыя углеродомъ, какъ напр. масло и спиртъ, служатъ болѣе для согрѣванія тѣла животныхъ.

Питательныя вещества. Молоко.

§ 258. Въ заключеніе разсмотримъ нѣсколько подробнѣе важнѣйшие изъ родовъ пищи.

Между всѣми питательными тѣлами молоко заключаетъ въ себѣ наибольшее число веществъ, необходимыхъ для питанія нашего организма, такъ что одного уже молока достаточно для поддержанія жизни, безъ содѣйствія другихъ веществъ.

Молоко есть растворъ казеина, молочнаго сахара и солей въ водѣ съ примѣсью небольшихъ шариковъ жира, могущихъ быть обнаруженными увеличительнымъ стекломъ. Если дать молоку отстояться, то эти шарики поднимаются кверху и даютъ на поверхности, такъ называемыя, сливки.

Если снять сливки и влить въ оставшееся молоко нѣсколько капель соляной кислоты, то отдѣляется въ немъ бѣлая волокнистая масса — казеинъ. При кипяченіи освобожденной отъ казеина жидкости, увидимъ, что съ ней свертывается незначительное количество бѣлковины.

Процѣдивъ бѣлковину и подвергнувъ остальную жидкость выпариванію, мы получимъ, послѣ нахожденія ея въ тепломъ мѣстѣ, бѣлые кристаллы молоч-

наго сахара, который по раствореніи въ водѣ легко превращается, при помощи извѣстныхъ средствъ, въ молочную кислоту.

Въ оставшемся молокѣ заключается еще растворъ различныхъ *солей*, которыя получаются или послѣ сожиганія, или послѣ совершеннаго выпариванія жидкости. Полученный остатокъ состоитъ изъ кали, натра, извести, магнезіи, окисла желѣза, фосфорной кислоты, сѣрной кислоты и хлора. Эти составныя части, въ различныхъ сортахъ молока, находятся въ разномъ содержаніи; въ коровьемъ молокѣ на фунтъ заключается приблизительно $^9/_{10}$ фунта воды, $^1/_{20}$ — $^1/_{25}$ казеина, почти столько же молочнаго сахара, $^1/_{30}$ масла и $^1/_{200}$ солей.

Молоко подвергается слѣдующимъ измѣненіямъ. Сливки состоятъ, какъ мы уже сказали, изъ шариковъ масла; послѣдніе находятся также въ смѣси съ другими составными частями молока.

Отъ сбиванія молока разрывается оболочка, покрывающая шарики жира, которые вслѣдствіе того соединяются между собою и отдѣляются отъ остальной жидкости. Полученная такимъ образомъ масса называется *масломъ*. Масло состоитъ изъ многихъ родовъ жиру, встрѣчаемыхъ нами также въ растеніяхъ: изъ твердаго жиру (маргарина), изъ жидкаго (олеина) и особеннаго жиру (бутирина); кромѣ того въ маслѣ находится незначительное количество казеину. Послѣдній, легко разлагаясь на воздухѣ, способствуетъ разложенію жира и производитъ, вслѣдствіе того, прогорькiость масла. Для предотвращенія этого къ маслу примѣшиваютъ соли, которая втягиваетъ въ себя воду изъ масла и противодѣйствуетъ чрезъ то вліянію казеина. Для удаленія послѣдняго вещества масло подвергаютъ топленію.

Изъ казеина молока приготовляется *сыръ*, который получается при свертываніи казеина до отдѣленія масла и послѣ удаленія послѣдняго; въ первомъ случаѣ получается, такъ называемый, жирный, а во второмъ обыкновенный, тощій сыръ. Жидкость, остающаяся по выжатіи сыра, называется *сывороткою;* она состоитъ изъ раствора молочной кислоты и солей въ водѣ. Обыкновенный сыръ постепенно переходитъ въ броженіе отъ наружной стороны во внутрь и это броженіе есть ни что иное какъ дальнѣйшее химическое разложеніе. При этомъ образуется амміакъ, дающій въ соединеніи съ казеиномъ мылообразную массу, сѣрнистый водородъ, жирную кислоту и т. д. Если остающаяся въ сырѣ сыворотка превращается въ масляную кислоту и углекислоту, то получаются внутри сыра пустыя пространства.

Молочный сахаръ, при извѣстныхъ условіяхъ, превращается въ виноградный сахаръ и потомъ въ спиртъ и углекислоту. Такимъ образомъ Татары приготовляютъ кумысъ.

По удобоваримости составныхъ частей, заключающихся въ молокѣ, послѣднее составляетъ превосходную пищу для питанія. Казеинъ принадлежитъ къ наиболѣе растворимымъ бѣлковиннымъ тѣламъ, жиры масла также растворяются удобно, а молочный сахаръ обладаетъ наибольшею удобоваримостію между всѣми родами сахара. Превращеніе его въ жиръ облегчается присутствіемъ масла и казеина. Къ этому должно присовокупить, что всѣ необходимыя для крови питательныя вещества находятся въ молокѣ въ надлежащемъ количествѣ. Между различными родами молока конечно переваривается труднѣе то, въ которомъ заключается большее содержаніе масла; вотъ почему ослиное молоко удобнѣе для переваривая нежели коровье.

Масло. *Масло* принадлежитъ къ числу менѣе удобоваримыхъ веществъ. Оно можетъ растворяться только сокомъ, выдѣляемымъ тонкой кишкою; поэтому если мы употребляемъ количество масла соотвѣтственно болѣе того незначительнаго количества сока, который отдѣляется въ тонкой кишкѣ, то растворимость его становится затруднительною. Еще труднѣе растворимо масло, претерпѣвшее отъ нагрѣванія химическія измѣненія: этимъ объясняется трудная сваримость пропитаннаго жиромъ печенаго тѣста. Отличительное свойство масла, какъ питательнаго вещества, заключается въ содѣйствіи его къ превращенію крахмала въ жиръ; вотъ почему изобилующій крахмаломъ хлѣбъ обыкновенно смазывается масломъ.

Сыръ. *Сыръ* долженъ быть также причисленъ къ трудноваримой пищѣ, потому что заключающіяся въ немъ питательныя части превратились въ другія вещества. Отличительная способность его заключается въ возбужденіи дѣятельности органовъ пищеваренія и въ содѣйствіи превращенію крахмала и сахара въ молочную кислоту и жиръ.

Яйца. *Птичьи яйца* состоятъ, какъ извѣстно, изъ оболочки и скорлупы, въ которой заключается *бѣлокъ* и *желтокъ*. Скорлупа состоитъ изъ 90 процентовъ углекислой извести, незначительнаго количества фосфорнокислой извести и органическихъ веществъ. Бѣлокъ состоитъ изъ клѣточекъ, образованныхъ трудно растворимымъ бѣлковиннымъ веществомъ, въ которомъ заключается собственно растворимая бѣлковина. При выпариваніи получаютъ до $1/_8$ твердой бѣлковины, а остальное, значитъ, была вода. При сожиганіи бѣлковины получается въ остаткѣ углекислый, фосфорнокислый и сѣрнокислый натръ, фосфорнокислая известь и повареная соль. Поэтому бѣлокъ состоитъ изъ *воды*, *бѣлковины* и *солей*. Составныя части яичной бѣлковины одинаковы съ растительной бѣлковиной. *Желтокъ* состоитъ изъ смѣси *бѣлковины* (16 проц.) и воды (52 проц.), и желтыхъ шариковъ жиру. Послѣдній, какъ показываетъ химическое изслѣдованіе, состоитъ изъ различныхъ жировъ и заключаетъ въ себѣ фосфоръ.

Изъ разсмотрѣнія состава яицъ слѣдуетъ, что они заключаютъ въ себѣ всѣ части необходимыя для питанія. Къ этому должно присовокупить удобо-растворимость веществъ, составляющихъ бѣлокъ и желтокъ, въ органахъ пищеваренія.

Мясо. Мы уже говорили выше о составѣ мяса; оно служитъ, какъ извѣстно, превосходнымъ питательнымъ веществомъ. Мы скажемъ здѣсь нѣсколько словъ о самомъ приготовленіи мяса. Мясо приготовляется или посредствомъ *варенія*, или посредствомъ *жаренія*. При каждомъ изъ этихъ способовъ происходитъ особенное химическое измѣненіе въ составѣ мяса.

При вареніи мяса свертываются растворимыя бѣлковинныя вещества, а фибринъ разлагается отъ дѣйствія кислорода и даетъ два новыя соединенія, изъ которыхъ одно легко растворимо въ водѣ. Клѣтчатая ткань превращается при кипѣніи въ клей или студень, а красящее вещество крови принимаетъ буроватый цвѣтъ и утрачиваетъ свойство растворяться въ водѣ. Жиръ расплывается, а соли большею частію растворяются въ водѣ. Такимъ образомъ составныя части сыраго мяса получаются частію въ видѣ твердой массы, а частію растворяются въ водѣ.

Но это распредѣленіе бываетъ различно, судя потому, кладется ли мясо на огонь въ холодной или прямо въ горячей водѣ.

Въ первомъ случаѣ проходитъ извѣстное время до тѣхъ поръ, пока вода достигнетъ той степени теплоты, которая необходима для свертыванія бѣлковины. Вслѣдствіе того всѣ растворимыя питательныя вещества, заключающіяся въ мясѣ, извлекаются изъ него водою, при чемъ въ послѣднюю переходитъ также и растворимая бѣлковина. Когда вода закипаетъ, бѣлковина свертывается въ видѣ бѣлыхъ волоконъ, которыя удаляются вмѣстѣ съ буроватыми частицами красящаго вещества крови. Расплавленный жиръ плаваетъ въ бульонѣ. Поэтому въ настоящемъ случаѣ большая часть питательныхъ веществъ заключается не въ мясѣ, но въ бульонѣ. Обратное происходитъ въ томъ случаѣ, если мясо прямо кладутъ въ кипятокъ. Бѣлковина тотчасъ свертывается и каждая частица мяса покрывается оболочкой свернутой бѣлковины; чрезъ это вода не можетъ уже извлекать изъ мяса тѣхъ частей, которыя она растворяла въ предшествовавшемъ случаѣ.

При жареніи мяса дѣйствіе теплоты сообщается ему преимущественно непосредственно, или при содѣйствіи жара. Наружные слои мяса, отъ разложенія красящаго начала, принимаютъ буроватую кору, которая удерживаетъ въ себѣ большую часть веществъ, испаряющихся изъ мяса. Въ тоже время отъ разложенія жира, вслѣдствіе дѣйствія теплоты, образуется молочная кислота, которая способствуетъ, подобно уксусу, разложенію бѣлковинныхъ тѣлъ.

Вотъ почему жаренное мясо легче для пищеваренія противу вареннаго. При жареніи большаго куска теплота не проникаетъ совершенно во внутрь и въ такомъ случаѣ мясо сохраняетъ болѣе сочности. Красящее вещество крови остается внутри неразложеннымъ и потому весьма часто показывается внутри большаго изжареннаго куска мяса кровяная жидкость.

Солонина или просоленное мясо труднѣе для пищеваренія и менѣе питательно противу свѣжаго мяса, потому что часть растворимой бѣлковины и необходимыя для пищеваренія молочнокислыя и фосфорнокислыя соли извлекаются изъ мяса въ разсолѣ.

Мяса различныхъ животныхъ не отличаются между собою различіемъ состава. Различіе обусловливается большимъ или меньшимъ содержаніемъ жиру. Какъ спокойное состояніе благопріятствуетъ отложенію жира въ организмѣ, а движеніе на открытомъ воздухѣ способствуетъ напротивъ быстрой перемѣнѣ веществъ, то поэтому домашнія животныя богаче жиромъ, но взамѣнъ того бѣднѣе надлежащими составными частями мяса противу дикихъ животныхъ и дичи. Мясо молодыхъ животныхъ отличается бо́льшимъ содержаніемъ растворимой бѣлковины противу мяса старыхъ животныхъ, и потому первое удобоваримѣе противу послѣдняго. Большое вліяніе оказываетъ также пища, принимаемая животными, какъ на свойства, такъ и на составъ ихъ мяса. Картофель, свекла, клеверъ увеличиваютъ содержаніе жира. Мясо рыбъ менѣе удобоваримо, по причинѣ незначительности крови и фибрина съ одной стороны и по содержанію большаго количества воды и особеннаго рода жира, заключающаго фосфоръ.

Принимая въ соображеніе, что пища бываетъ тѣмъ легчеваримѣе, чѣмъ она богаче растворимой бѣлковиной, сравнительно съ содержаніемъ фибрина и жира, можно опредѣлить различіе въ удобствѣ для пищеваренія различныхъ родовъ мяса.

На этомъ основаніи куриное мясо удобоваримѣе противу телятины, телятина удобоваримѣе противу обыкновенной говядины, а послѣдняя удобоваримѣе свинины.

Мясная пища наиболѣе способствуетъ питанію мускуловъ.

Питательность растительной пищи можетъ быть легко опредѣлена изъ слѣдующей таблицы. Растительныя вещества: рожь, картофель и др.

100 частей, по вѣсу, слѣдующихъ питательныхъ веществъ.	безазотистыхъ веществъ.			азотистыхъ веществъ.			неорганическихъ веществъ.	
содержатъ:	крахмалъ.	сахаръ.*	жиръ.	бѣлковина.	клей.	казеинъ.	фосфор. кислая известь.	вода.
рожь	40	2	—	—	8	—	?	10
пшеница . . .	74	4	—	—	11	—	0,08	10
ячмень . . .	32	5	—	—	5	—	0,24	11
рисъ	85	незна	чит.	—	3,6	—	0,4	6
картофель . .	15	камедь 4	—	1,4	—	—	—	75
бобы	42	незнач.	0,7	—	—	18—20	1,0	23
горохъ	42	2	—	—	—	18	2,0	13

* По новѣйшимъ изслѣдованіямъ извѣстное количество сахара образуется въ мукѣ только спустя нѣкоторое время изъ камеди, и потому не заключается въ свѣжей мукѣ.

Изъ этой таблицы не трудно замѣтить, что въ приведенныхъ растеніяхъ содержаніе азотныхъ (бѣлковинныхъ) веществъ гораздо значительнѣе противу безазотныхъ. А это въ свою очередь ясно говоритъ въ пользу питательности и удобоваримости хлѣба, приготовляемаго изъ муки.

Растительный клей труднѣе растворимъ въ жидкостяхъ органовъ пищеваренія, нежели соотвѣтствующій ему фибринъ мускуловъ, поэтому первый для пищеваренія труднѣе послѣдняго. *Крахмалъ* долженъ подвергаться различнымъ преобразованіямъ до перехода своего въ жиръ, который переходитъ въ составъ крови. Какъ собственно питательность зависитъ отъ содержанія бѣлковинныхъ веществъ, то хлѣбъ менѣе питателенъ противу мяса. Конечно хлѣбъ доставляетъ крови крахмалъ, который превращается въ жиръ, но количество послѣдняго не вознаграждаетъ въ хлѣбѣ незначительности содержанія бѣлковины, болѣе потребной для крови нежели жиръ.

Изъ сказаннаго слѣдуетъ, что изъ хлѣбныхъ растеній наиболѣе питательны тѣ роды, которые отличаются богатымъ содержаніемъ клея и бѣлковины; одинъ взглядъ на приведенную выше таблицу показываетъ, что хотя рисъ и доставляетъ крови болѣе жиру, но за то значительно уступаетъ въ питательности пшеницѣ.

Изъ неорганическихъ составныхъ частей мы встрѣчаемъ въ различныхъ родахъ растеній всѣ вещества необходимыя для крови. Горохъ, бобы и чечевица, кромѣ неорганическихъ частей необходимыхъ для крови, отличаются богатымъ содержаніемъ бѣлковинныхъ веществъ и превосходятъ, въ этомъ отношеніи, хлѣбныя растенія и даже мясо. Находящійся въ нихъ казеинъ (въ особенности въ горохѣ) растворимъ въ водѣ; при этомъ они снабжены достаточнымъ количествомъ крахмала и камеди, необходимыхъ для образованія жиру. Поэтому приведенные нами стручкообразные плоды принадлежатъ къ числу питательнѣйшихъ веществъ. Наименѣе питательную часть въ этихъ растеніяхъ составляетъ собственно шелуха.

Картофель отличается уже меньшею питательностію, въ чемъ убѣждаетъ насъ вышеприведенная таблица. Хотя картофель и способствуетъ образованію жира, но съ другой стороны нельзя не замѣтить, что для насыщенія однимъ картофелемъ должно его употреблять въ такомъ количествѣ, которое дѣлается затруднительнымъ для пищеваренія.

Перейдемъ теперь къ *овощамъ* и *плодамъ*.

Овощи и плоды. *Овощи*, какъ напр. салатъ, спаржа, капуста и др., весьма бѣдны содержаніемъ бѣлковинныхъ частей, равно какъ крахмала, камеди и другихъ веществъ, необходимыхъ для образованія жиру; около $^9/_{10}$ ч. ихъ вѣса занято водою. Поэтому онѣ весьма мало содѣйствуютъ питанію. Но взамѣнъ того онѣ заключаютъ различныя органическія кислоты, растворяющая способность которыхъ содѣйствуетъ перевариванію бѣлковины и фибрина; на этомъ основано самое употребленіе этихъ веществъ.

Плоды хотя и необременены подобно овощамъ водою, но зато бѣднѣе ихъ бѣлковинными веществами. Плоды обладаютъ охладительными кислотами и различными летучими маслами, доставляющими имъ пріятный вкусъ. Сладость же ихъ зависитъ отъ содержанія сахара.

Хотя почти всѣ употребляемыя нами въ пищу вещества заключаютъ извѣстное количество хлора и натрія, изъ которыхъ состоитъ поваренная соль, но содержаніе этихъ частей весьма недостаточно для питанія крови и потому мы принуждены примѣшивать къ пищѣ *соль*, которая помогаетъ также перевариванію бѣлковины и жиру.

Что же касается до пряныхъ растеній и кореньевъ, то они обладаютъ незначительнымъ содержаніемъ бѣлковины, камеди, крахмалу, кислотъ и солей, и потому мало содѣйствуютъ собственно питанію. Повсемѣстное употребленіе пряностей основано на присутствіи въ нихъ извѣстнаго количества летучихъ маслъ, дѣйствующихъ раздражительнымъ образомъ на органы пищеваренія.

Употребляемые нами *напитки*: пиво, вина и водки, не выполняютъ сами по себѣ условій питательныхъ веществъ, въ особенности водки. Пиво заключаетъ въ себѣ нѣкоторое количество бѣлковины; кромѣ того въ пивѣ и винѣ находятся сахаръ, камедь, кислоты, соли и др. вещества. Въ пивѣ содержится также хмѣльная кислота, въ винѣ — винный эѳиръ, въ водкѣ — картофельная кислота и др. Винный спиртъ, заключающійся во всѣхъ этихъ напиткахъ, превращается въ крови въ уксусную кислоту и воду, а потомъ въ углекислоту и воду. Эти процессы доставляютъ организму извѣстное количество теплоты. Напитки.

Чайные листья заключаютъ древесину, бѣлковину, камедь, смолу и, между многими другими неорганическими веществами, дубильную кислоту, летучее масло и теинъ. Послѣднія три вещества и преимущественно теинъ, составляютъ особенный характеръ чая. Теинъ образуетъ съ дубильной кислотой соединеніе, растворимое въ горячей водѣ.

Характеристическія вещества *кофе* суть: кофейный жиръ, кофейная кислота и кофеинъ. Соединенное съ кофейнымъ жиромъ летучее масло (въ самомъ незначительномъ количествѣ), придаетъ кофе особенный запахъ. Кофейная кислота, при жареніи кофе, измѣняется въ другую кислоту, соединяющуюся съ основаніемъ. Кислота эта легко растворима въ водѣ и придаетъ послѣдней немного кислый вкусъ. Кофеинъ представляетъ по составу и особеннымъ свойствамъ сходство съ теиномъ. Жареніе кофе не должно происходить при слишкомъ большомъ жарѣ, потому что въ противномъ случаѣ кофеинъ можетъ улетучиться.

Оба эти напитка — чай и кофе, возбуждаютъ дѣятельность нервовъ, но причина этого дѣйствія до сихъ поръ еще необъяснена совершенно. Обыкновенно приписываютъ это вліянію теина и кофеина.

КОНЕЦЪ ПЕРВОЙ ЧАСТИ.



ЗАМѢЧЕННЫЯ ОПЕЧАТКИ.

Стран.	*Строка.*	*Напечатано:*	*Должно читать:*
64	10 и 11 сверху	противящейся напряженію силы дѣйствующей силы и такъ какъ обѣ эти на основанія.	противящейся напряженію дѣйствующей силы и такъ какъ обѣ эти силы на основаніи
93	13 снизу	половинѣ линіи AF.	удвоенной линіи AF.
100	14 снизу	уже	уже линіи
	16 снизу	касательныя	касательныя образуютъ
102	4 снизу	$\left(F \frac{B^2}{2R} \text{ и } f=\frac{B'^2}{2r}\right)$	$\left(F=\frac{B^2}{2R} \text{ и } f=\frac{B'^2}{2r}\right)$
136	21 снизу	нами былъ короче	нами короче
140	13 сверху	точки	точка
143	23 сверху	линіи dh	линіи $d'h$
144	19 сверху	силу большую	силу большую или меньшую
155	4 снизу	выражающее	выражающая
169	27 и 28 снизу	то когда послѣдній находится на прямой линіи съ рукояткою (фиг. 225), то онъ	то во время нахожденія шатуна на прямой линіи съ рукояткою (фиг. 225) онъ
171	10 снизу	стрѣлки	стрѣлку
199	25 сверху	тотчасъ займетъ прежнее мѣсто	тотчасъ займетъ по прежнему самое низкое мѣсто
232	21 и 22 снизу	въ натертомъ тѣлѣ	въ тѣлѣ
240	17 и 18 сверху	нерастворяющейся	нерастворяющей
310	24 сверху	центробѣжная сила	центростремительная сила
312	13 снизу	сродство	сходство
325	9 и 10 снизу	каждый футъ воды резервуара усилится	давленіе выносимое каждымъ футомъ воды резервуара усилится
336	2 снизу	сосредоточенною	приложенною

